

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Matej Krebelj

Interaktivni zemljevid dostopnih točk

DIPLOMSKO DELO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Matej Krebelj

Interaktivni zemljevid vstopnih točk

DIPLOMSKO DELO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: prof. dr. Nikolaj Zimic

Ljubljana, 2015

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina avtorja. Za objavlanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Tematika naloge:

Široka uporaba komunikacijskih naprav, predvsem telefonov in tablic, prinaša tudi nove izzive. Ponudnik mobilnega prenosa podatkov le-te zaračunava po različnih shemah, uporabnik pa teži k čim nižjim stroškom. Tako je uporaba odprtih dostopnih točk Wi-Fi zelo priljubljena, saj omogoča brezplačen ter hiter prenos podatkov.

V diplomski nalogi izdelajte aplikacijo za mobilni telefon z operacijskim sistemom android, ki bo zajemal informacije o odprtih dostopnih točkah ter le-te skupaj z lokacijo naprave posredoval strežniku. Poleg tega naj aplikacija omogoča prikaz zajetih podatkov na zemljevidu, kar olajša uporabniku iskanje najbližje vstopne točke. Strežnik naj poleg shranjevanja podatkov o vstopnih točkah omogoča tudi pregled zemljevida z uporabo običajnega brskalnika.

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani Matej Krebelj sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Interaktivni zemljevid vstopnih točk

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom prof. dr. Nikolaja Zimica,
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela,
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela na svetovnem spletu preko univerzitetnega spletnega arhiva.

V Ljubljani, dne 22. marca 2015

Podpis avtorja:

Zahvala vsem za podporo, ki so mi jo izražali v času študija.

Kazalo

Povzetek

Abstract

Poglavje 1	Uvod	1
Poglavje 2	Elektromagnetno valovanje, radijski valovi	3
Poglavje 3	Frekvenčno območje ISM.....	9
Poglavje 4	Skupek standardov IEEE 802.11	13
4.1	Oddajna moč in frekvenčni pasovi	14
4.2	Procesiranje signala	16
4.3	Razvoj standarda IEEE 802.11 skozi leta	17
4.4	Wi-Fi Alliance	24
Poglavje 5	Globalni sistem za določanje položaja - GPS.....	25
5.1	Kaj je GPS?.....	25
5.2	Kratka zgodovina GPS.....	26
5.3	Tehnologija	28
Poglavje 6	Aplikacija WiFreeMaps	31
6.1	Kako deluje	31
6.2	Sestavni deli celotnega sistema.....	33
6.3	Opis strojne in programske opreme	37
Poglavje 7	Testiranje in razvoj	41
7.1	Pridobivanje lokacije	41
7.2	Pridobivanje informacij o Wi-Fi omrežjih.....	43
7.3	Prikazovanje informacij o omrežjih na zemljevidu	44
7.4	Sinhronizacija podatkov	45
7.5	Strežniški del s spletnim vmesnikom.....	46
7.6	Zgradba spletnega vmesnika.....	49
Poglavje 8	Zaključek.....	51

Poglavje 9	Razširitve in načrti za prihodnost	53
-------------------	---	-----------

Seznam uporabljenih kratic

kratica	angleško	slovensko
SSID	Service Set Identifier	Identifikator, ki predstavlja ime omrežja
BSSID	Basic Service Set Identifier	Enolični 48 bitni identifikator brezžičnega omrežja, sestavljen iz MAC naslova dostopne točke.
MAC address	Media Access Control address	Enoličen naslov naprave
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Združenje inženirjev s področja elektrotehnike in elektronike
EM	Electromagnetic	Elektromagnetno
ISM	The Industrial, Scientific and Medical radio bands	Področje radijskega spektra namenjeno za uporabo za industrijske, znanstvene in medicinske namene
AKOS	Agency for communication networks and network services in Slovenia	Agencija za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance	Združba za zagotavljanje kompatibilnosti brezžičnih tehnologij
Wi-Fi	Local area wireless technology	Tehnologija lokalnih brezžičnih omrežji
SNR	Signal to Noise Ratio	Razmerje med signalom in šumom
FEC	Forward Error Correction	Vnaprejšnja odprava napak

CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance	Hkratni dostop do medija z zaznavanjem zasedenosti medija in izogibanjem trkom
TCP	Transmission Control Protocol	Protokol za kontrolo prenosa
UDP	User Datagram Protocol	Protokol za prenos datagramov brez potrjevanja
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output	Več vhodni in več izhodni komunikacijski pristop
MU-MIMO	Multi user MIMO	Večuporabniški MIMO
MSDU	MAC Service Data Unit	MAC servisna podatkovna enota
MPDU	MAC protocol data unit	MAC protokolarna podatkovna enota
GPS	Global Positioning System	Globalni sistem za določanje položaja
GLONASS	Global Navigation Satellite System	Globalni navigacijski satelitski sistem
NAVSAT	Navy Navigation Satellite System	Mornariški navigacijski satelitski sistem
DNSS	Defense Navigation Satellite System	Obrambni navigacijski satelitski sistem
NAVSTAR	Navigation System Using Timing and Ranging	Navigacijski sistem z uporabo časomerilcev in merjenjem razdalje
TOT	Time Of Transmission	Čas oddaje
TOA	Time Of Arrival	Čas prihoda
TOF	Time Of Flight	Čas potovanja
API	Application Programming Interface	Programski vmesnik

HTTP	Hypertext Transfer Protocol	Protokol za prenašanje hiperteksta
PHP	Hypertext Preprocessor	Jezik za preprocesiranje hiperteksta
SSD	Solid State Drive	Podatkovni pogon s tehnologijo pomnilniških celic
HTML	HyperText Markup Language	Jezik za pisanje spletnih strani
CSS	Cascading Style Sheets	Jezik za napredno oblikovanje HTML strani
JSON	JavaScript Object Notation	Oblika zapisa podatkov, ki se jo uporablja pri spletnih tehnologijah
SDK	Software Development Kit	Orodje za razvoj programske opreme

Povzetek

Diplomsko delo predstavlja primer uporabe mobilne naprave za odkrivanje brezžičnih dostopnih točk ter zbiranje informacij o njih. Za ta namen smo razvili aplikacijo, ki prikazuje stanje dostopnih točk na zemljevidu. Omogoča tudi sinhronizacijo in deljenje teh informacij preko interneta s pomočjo centralnega strežnika. V primerjavi z obstoječimi rešitvami, ki za vsako omrežje uporabljajo eno lokacijsko oznako, naša aplikacija zbere za vsako omrežje več meritev na različnih lokacijah. Na ta način lahko prikažemo podrobnejšo obliko izgleda omrežja in njegov dejanski obseg.

Možnosti za nadaljevanje razvoja je veliko, saj se lahko zbrane informacije uporabi za različne analize. Primer uporabe bi bil spremljanje stanja dostopnih točk skozi čas, spremljanje obsega omrežij, trendov varnostne osveščenosti in podobno.

Ključne besede: dostopne točke, GPS lokacija, interaktivni zemljevid, analiza pokritosti z Wi-Fi signalom

Abstract

This work focuses on the use of mobile devices for the purpose of collecting detailed data about Wi-Fi access points. We developed an application capable of collecting and sharing that data over the internet. It is also capable of a detailed representation for each network. This is achieved by collecting multiple measurement points for each network and displaying them on a map. Our approach produces more accurate and detailed network representations on a map compared to existing applications on the market.

Possible extensions to the current application include various analyses regarding Wi-Fi networks. For example, we could use the collected data to see how the ranges of networks change with time or to analyse trends in Wi-Fi security.

Keywords: access points, GPS location, interactive map, Wi-Fi signal analyses

Poglavje 1 Uvod

Pametni mobilni telefoni in tablice so postali del našega vsakdana. Uporaba interneta se je iz osebnih računalnikov preselila na te naprave. S pomočjo brezžičnega prenosa podatkov lahko uporabniki spremljajo splet, si ogledujejo različne multimedijske vsebine ali uporabljajo druge aplikacije, ki za delovanje potrebujejo povezavo z internetom.

Del prenosa podatkov pade na uporabo Wi-Fi omrežij, ki so zelo razširjena po vsem svetu. Na veliko mestih v nakupovalnih centrih, lokalih in restavracijah lahko najdemo table, na katerih piše »Free Wi-Fi«. Takšne lokacije uporabnikom omogočajo brezplačno uporabo interneta.

Uporabniki, ki so vajeni pogoste rabe interneta in veliko potujejo v tujino, z uporabo takšnih lokacij privarčujejo v primerjavi s plačevanjem prenosa podatkov mobilnemu ponudniku.

Diplomsko delo se posveča izdelavi aplikacije za mobilno platformo, ki bi omogočila lažje iskanje teh lokacij. Aplikacija med delovanjem zbira informacije o omrežjih in informacije o njihovi lokaciji shranjuje v pomnilnik. Uporabniki aplikacije lahko zbrane informacije delijo z ostalimi, tako da jih pošljejo na centralni strežnik. Ostali lahko do teh podatkov dostopajo in jih uporabijo v aplikaciji, ki je nameščena na njihovi tablici ali telefonu.

Zbrani podatki o omrežjih se prikazujejo na zemljevidu v aplikaciji. Uporabnikova lokacija je prav tako označena na zemljevidu. Podatki, ki so na voljo, lahko uporabniku omogočijo hitro lociranje brezžičnega omrežja v njegovi bližini.

Druga, pomembnejša funkcija naše mobilne aplikacije je podroben prikaz omrežja. Podroben prikaz omrežja je sestavljen z zbiranjem večje količine informacij o omrežju. Uporabnik lahko ob ustrezno visoki povečavi zemljevida vidi, do kje določeno omrežje sega, na katerem delu stavbe je dosegljivo in kako določene ovire vplivajo na pokritost s signalom.

Dodatne možnosti in razširitve aplikacije so precej obsežne. Nekaj idej smo tudi zapisali v zaključnem delu diplomskega dela.

Ker je zbiranje podatkov včasih kočljiva zadeva in predmet lokalne zakonodaje, bi radi poudarili, da je celotna aplikacija razvita v akademske namene.

Z množico zbranih podatkov, ki jih aplikacija uporablja, se da zgolj določiti parametre in obseg brezžičnih omrežji. Informacij o uporabnikih aplikacija ne zbira.

Poglavje 2 Elektromagnetno valovanje, radijski valovi

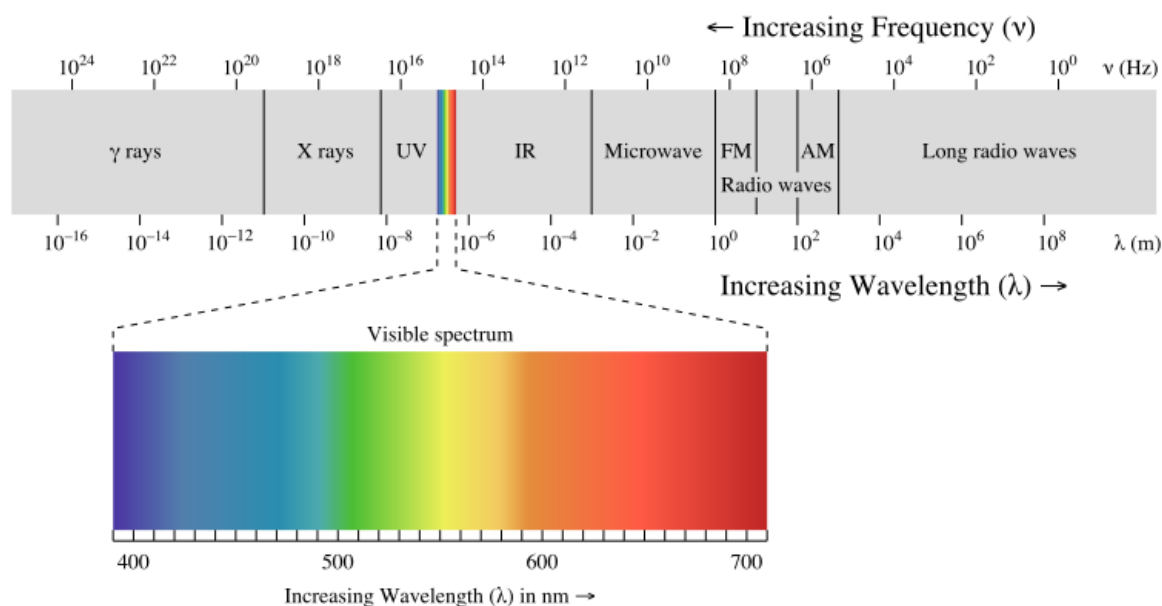
Osnove elektromagnetnega valovanja niso predmet našega diplomskega dela, vendar je za razumevanje pomembno, da poznamo principe delovanja in širjenja elektromagnetnega sevanja, ki ga uporabljajo komunikacijske naprave in standardi, ki so zajeti v tem delu.

Elektromagnetno valovanje je valovanje električnega in magnetnega polja. Širi se s svetlobno hitrostjo. Elektromagnetno valovanje prenaša energijo, pri čemer se polovica te energije prenaša v električnem, polovica pa v magnetnem polju. Vidna svetloba, rentgenski žarki in radijski valovi spadajo v to skupino, nahajajo pa se na različnih delih elektromagnetnega spektra.

Elektromagnetni valovi se širijo skozi različne snovi (voda, zrak, kamenine, kovine, ...) na različne načine. Od njihove valovne dolžine je odvisno, do kakšne globine sežejo in ali se lahko po njih tudi širijo.

Rentgenski žarki, ki delujejo na frekvencah med 30 in 30.000 PHz (10^{15} Hz), so na primer uporabni za pridobivanje slik objektov, ki so locirani znotraj drugih objektov. Srečamo jih v medicini in nekaterih carinskih pregledih. Z rentgenskim posnetkom lahko preučimo zgradbo kosti, njihove poškodbe, stanje organov in podobno. Rentgenski žarki potujejo skozi našo mišično zgradbo, kar nam omogoča slikanje organov ali okostja na različnih globinah. Isto tehnologijo uporabljamo tudi pri pregledih prtljage na letališčih. S prostim očesom je ta oblika elektromagnetnega valovanja ljudem nevidna.

Elektromagnetno valovanje valovnih dolžin med 390 to 700 nm (10^{-9} m) oz. frekvenco valovanja med 430 in 790 THz (10^{12} Hz) ima drugačne lastnosti prehajanja skozi materiale. Od večine površin se namreč odbije in naše oči ga zaznavajo kot vidno svetlobo. Širi se skozi zrak, steklo, vodo do različnih globin. Slika 1 prikazuje elektromagnetni spekter na različnih frekvencah in ustrezna poimenovanja določenih delov spektra. Poleg tega je podrobneje prikazan tudi svetlobni spekter, ki ga ljudje zaznavamo z očmi.



Slika 1: Elektromagnetni spekter, z detajlom svetlobnega spektra [1]

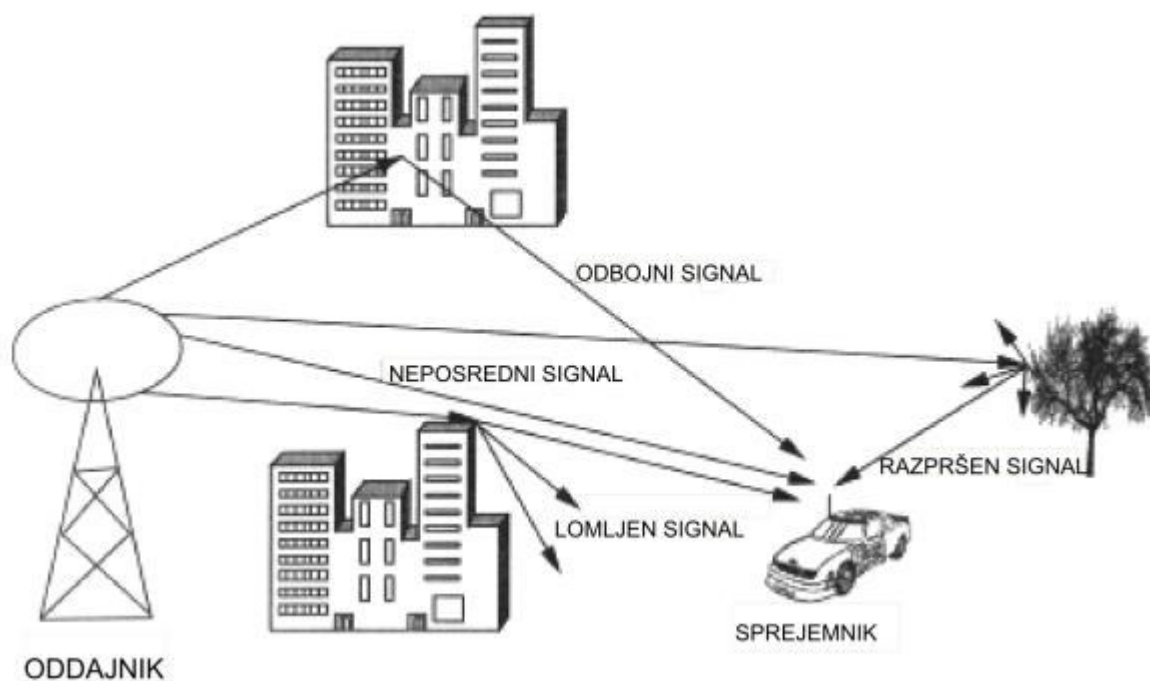
Diplomsko delo obravnava območje na območju radijskih valov pri valovanju med 2,4 GHz in 5,8 GHz, na katerem delujejo naprave po standardih IEEE 802.11.

Radijski valovi (elektromagnetno valovanje med 3 kHz in 300 GHz) se lahko prenašajo po prostoru, skozi nekatere trdne snovi in po nekaterih kovinah. Kovinske antene uporabljamo za boljše sprejemanje in oddajanje radijskih valov. Naprave, ki za svoje delovanje uporabljajo radijske valove, so: radijski in televizijski oddajniki in sprejemniki, radio komunikacijska oprema, telefonija, navigacijski sistemi, radarski sistemi, pripomočki za segrevanje snovi in sistemi za upravljanje na daljavo. [2]

Radijski valovi se širijo skozi prostor. Nasprotno od žičnih povezav, kjer lahko vodnik ščitimo pred motnjami iz okolice, so precej bolj izpostavljeni različnim motnjam in ostalim vplivom iz okolja.

Signal lahko od oddajnika do prejemnika pripotuje na štiri različne načine:

- Neposredno - neposredni signal
- Z odbojem - odbiti signal
- Z razpršitvijo - razpršeni signal
- Lahko se tudi lomi pri prehajanju iz ene snovi v drugo - lomljeni signal



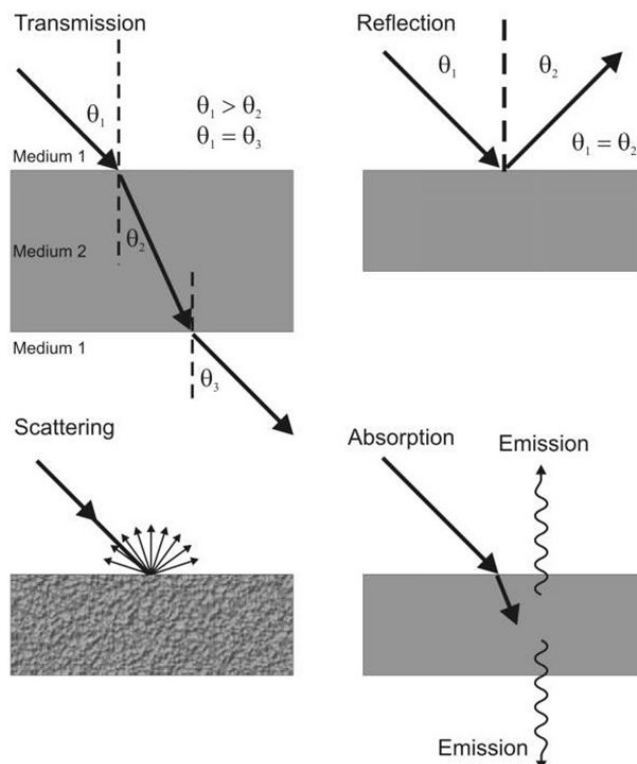
Slika 2: Širjenje elektro magnetnega valovanja od oddajnika k sprejemniku [3]

Neposredni signal je signal, ki potuje po najkrajši vidni razdalji od oddajnika k sprejemniku. Med potjo lahko prehaja tudi skozi trdne snovi, kot so na primer steklo ali za signal prehodne ovire. Tak signal običajno omogoča najhitrejši in najbolj zanesljiv prenos podatkov. Če se med oddajnikom in prejemnikom pojavi ovira, ki ne prepušča radijskega signala, potem ta sprejemnika ne doseže.

Odbiti signal je tisti signal, ki od oddajnika k sprejemniku potuje po daljši poti od neposrednega. Podobno kot zvok se tudi radijski valovi od različnih površin v okolici odbijejo. Signal do sprejemnika tako potrebuje več časa kot pri neposrednem, pri vsakem odboju (lahko jih je več) pa zaradi absorpcije tudi izgublja svojo moč.

Razpršen signal se za razliko od odbojnega, kjer večina odbitega signala potuje v isto smer, po interakciji z objektom odbije v več različnih smeri. V tem primeru do sprejemnika pripotuje v oslavljeni obliki v primerjavi z običajnim odbitim signalom.

Lomljeni signal se pojavi na mestih, kjer elektromagnetno valovanje pride v stik z robovi objektov. Zaradi različne hitrosti potovanja signala skozi različne snovi, se signal lomi.

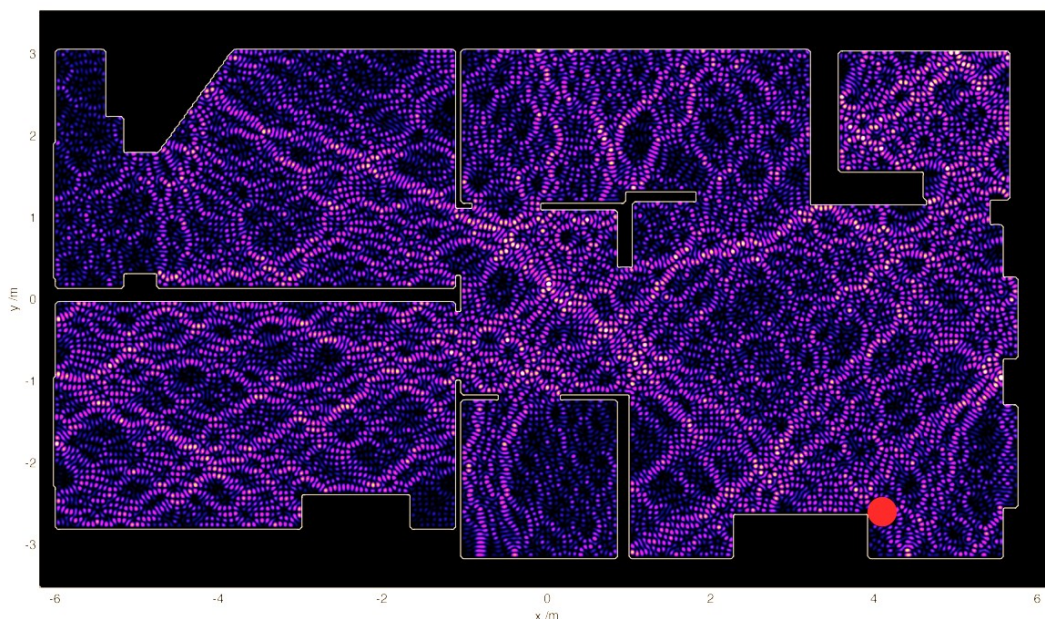


Slika 3: Različne interakcije elektro magnetnega valovanja s površinami [4]

Prvi del slike 3 prikazuje primer, ko se signal zaradi prehoda skozi različni snovi lomi (transmission), drugi del slike predstavlja detajl odboja (reflection), tretji prikazuje razprševanje signala (scattering), četrti pa ponazarja del signala, ki se pri potovanju absorbira (absorption) in predstavlja slabljenje nepopolno odbitega signala.

Signal, ki ga prejme prejemnik je seštevka vseh radijskih signalov in nam je brez pravilnega razločevanja težko razumljiv, saj vsebuje direkten, odbiti, razpršeni in lomljeni signal. Podobno, kot je človeško uho sposobno filtrirati zvok, mora biti tudi sprejemnik takšnega signala pravilno opremljen s prijemi za ustrezno obdelavo na videz nerazumljive informacije. Načini, kako to doseči na pravi način, so med drugim določeni v standardih IEEE 802.11, ki jih bomo poglobljeje spoznali v nadaljevanju.

Za grafično predstavitev širjenja radijskih valov lahko uporabimo Helmholtzove matematične formule [5]. Slika 4 prikazuje izdelavo modela z uporabo teh funkcij znotraj stanovanja. Rdeča točka je izvor radijskega sevanja, rdeče, vijolične in roza barve nakazujejo intenziteto signala na določenem delu v prostoru.



Slika 4: Širjenje signala brezžičnega omrežja v stanovanju (tloris) [6]

Diplomsko delo se sicer osredotoča na širjenje valovanja na prostem, vendar je zgornja upodobitev koristna za razumevanje širjenja EM valovanja, ki se na podoben način širi tudi zunaj. Stene in pregrade lahko nadomestimo z drevesi, ograjami, zunanjimi zidovi in kupi zemlje ter tako dobimo precej podobno situacijo.

Ker so dostopne točke običajno locirane znotraj stavb, je dobro, da prikažemo tudi informacije o materialih ter kako močno vplivajo na širjenje elektromagnetnih valov v območju delovanja standardov IEEE 802.11. [7]

Material	Slabljenje signala	Primeri
Zrak	zanemarljivo	Odperti prostori, igrišče
Les	nizko	Vrata, pregradne stene, tla
Plastika	nizko	Pregrade
Steklo	nizko	Okna
Zatemnjeno steklo	srednje	Zatemnjena okna npr. na avtomobilih ali stavbah
Voda	srednje	Akvariji, fontane
Živa bitja	srednje	Rastline, živali, ljudje
Opeka	srednje	Stene
Mavec	srednje	Pregradne stene
Keramika	visoko	Keramične ploščice
Papir	visoko	Papirnate role
Beton	visoko	Nosilni stebri, tlak
Neprebojno steklo	visoko	Neprebojna okna
Kovine	zelo visoko	Železobetonske, zrcalo, kovinske omare

Tabela 1: Vpliv različnih materialov na slabljenje signala, ki ga uporabljajo standardi IEEE 802.11

Poglavje 3 Frekvenčno območje ISM

V območje ISM (Industrial, Scientific and Medical radio bands) spadajo tisti deli radijskega spektra, ki so na voljo za uporabo v različnih področjih in za različne namene [8]. Za naprave, ki delujejo v območjih ISM, obstajajo pravila, ki omejujejo njihovo oddajno moč. Ob upoštevanju teh pravil ne potrebujejo posebnih dovoljenj za obratovanje. Uporaba takšnih naprav je opravičena plačila licenčnin, ki se sicer lahko pojavijo v drugih frekvenčnih območjih ali za višje oddajne moči. Pri nas vlogo upravitelja frekvenčnih pasov prevzema AKOS, agencija za komunikacijska omrežja in storitve republike Slovenije.

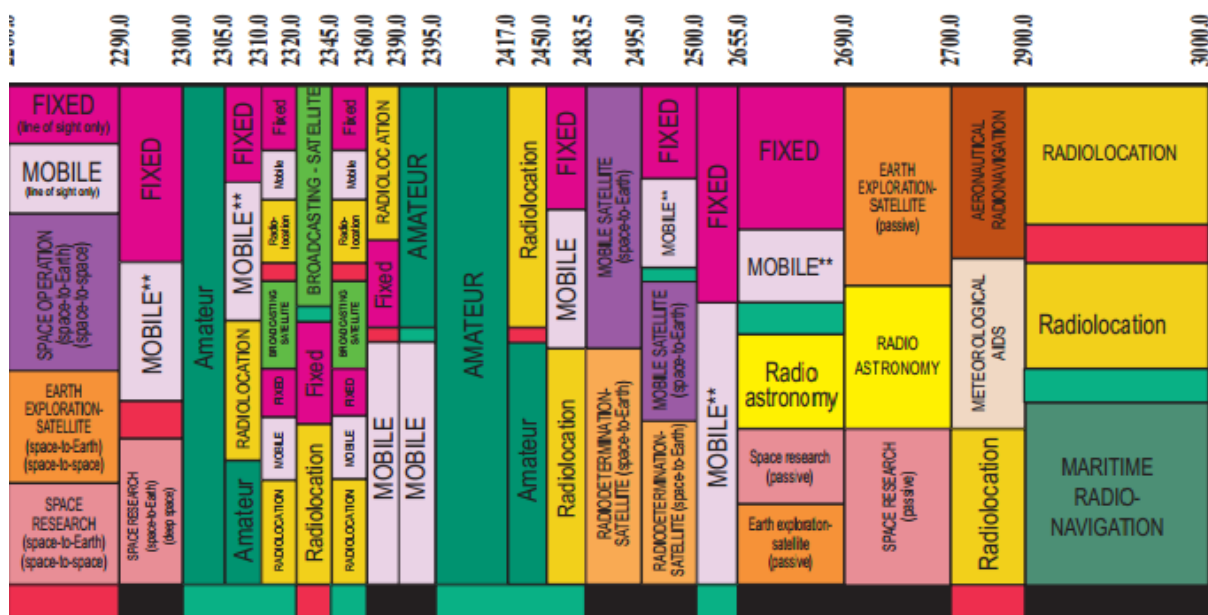
Tabela 2 prikazuje frekvenčno območje in uporabo teh območij po svetu. Dovoljena raba nekaterih delov območja ISM je domena lokalnih skupnosti – držav.

Frequency range		Bandwidth	Center frequency	Availability
6.765 MHz	6.795 MHz	30 kHz	6.780 MHz	Subject to local acceptance
13.553 MHz	13.567 MHz	14 kHz	13.560 MHz	Worldwide
26.957 MHz	27.283 MHz	326 kHz	27.120 MHz	Worldwide
40.660 MHz	40.700 MHz	40 kHz	40.680 MHz	Worldwide
433.050 MHz	434.790 MHz	1.74 MHz	433.920 MHz	Region 1 only and subject to local acceptance (within the amateur radio 70 cm band)
902.000 MHz	928.000 MHz	26 MHz	915.000 MHz	Region 2 only (with some exceptions)
2.400 GHz	2.500 GHz	100 MHz	2.450 GHz	Worldwide
5.725 GHz	5.875 GHz	150 MHz	5.800 GHz	Worldwide
24.000 GHz	24.250 GHz	250 MHz	24.125 GHz	Worldwide
61.000 GHz	61.500 GHz	500 MHz	61.250 GHz	Subject to local acceptance
122.000 GHz	123.000 GHz	1 GHz	122.500 GHz	Subject to local acceptance
244.000 GHz	246.000 GHz	2 GHz	245.000 GHz	Subject to local acceptance

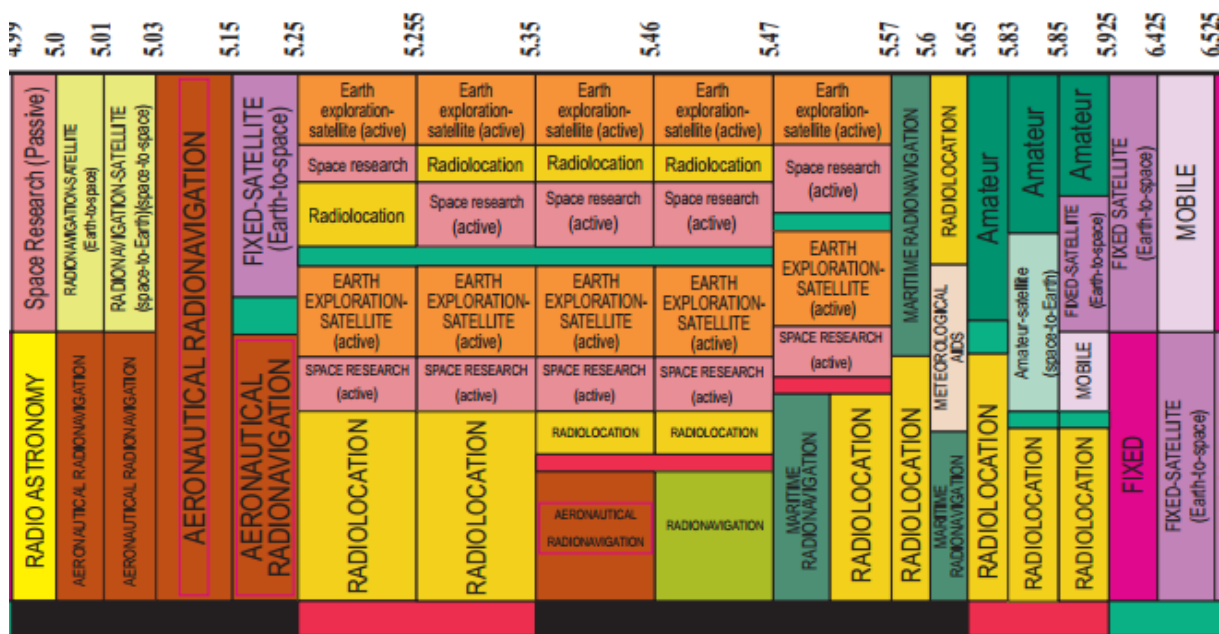
Tabela 2: razporeditev frekvenčnih pasov v območju ISM [8]

Iz tabele 2 je razvidno, da je uporaba omrežnih pasov 2,4 GHz in 5,8 GHz dovoljena po vsem svetu. V nadaljevanju se bomo predvsem osredotočili na ti dve območji, ki sta posredno tudi predmet problematike diplomskega dela.

Sliki 5 in 6 prikazujeta informacije o dogovorjeni uporabi frekvenčnih pasov za različne namene. Podatki veljajo za Združene države Amerike.



Slika 5: Uporaba frekvenčnega pasu okrog 2,4GHz, ki je v uporabi v ZDA [9]



Slika 6: ISM pas od 5,0GHz do 6,5GHz v uporabi v ZDA [9]

Celotna tabela je dostopna na internetnih straneh wikimedia [10].

Po pregledu slike 5 in 6 dobimo občutek, kako zasedeno je frekvenčno območje in zakaj so dogovori za uporabo določenih delov frekvenčnega spektra sploh potrebni.

Vrste naprav, ki uporabljajo frekvence, določene v ISM v območju 2,4 GHz, so med drugim medicinske naprave, mikrovalovne pečice, ki jih najdemo v gospodinjstvih, nekateri brezžični stacionarni telefoni (v ZDA in Kanadi), Bluetooth naprave, avtomobilski alarmi, ZigBee naprave in naprave, ki delujejo po nekaterih standardih IEEE 802.11. Zaradi uporabe istega frekvenčnega območja si naprave medsebojno predstavljajo vir elektromagnetnih motenj, ki povzročajo predvsem negativne posledice [11]. Mikrovalovne pečice so zaradi svoje relativno visoke moči dobro zaščitene, da iz njih sevanje ne uhaja. Bi pa ob poškodbi te zaščite (namerna odstranitev vrat in ustrezno obiden varnostni mehanizem) lahko povzročale motnje v območju 2,4 GHz.

Mikrovalovna pečica bo ne glede na okoliške motnje delovala, s svojim delovanjem pa povzročala ogromen vir motenj za komunikacijske naprave. Komunikacijske naprave so namreč občutljive na takšne oblike motenj, ker je njihova moč omejena (ne morejo preglasiti radijskih valov, ki jih oddaja prirejena mikrovalovka), razločevanje signala pa ključnega pomena za delovanje.

Analogija za ta primer bi bila proizvodna linija z glasnimi obdelovalnimi stroji (v našem primeru predstavljajo mikrovalovno pečico, ki ima okvarjeno zaščito pred izhodnim sevanjem). Poleg je postavljen tudi zvočnik, ki predvaja glasbo. Nekaj metrov od zvočnika se nahaja diktafon, s katerim bi radi to glasbo posneli. Zaradi hrupa, ki se sprošča med delovanjem stroja, je posneta glasba na diktafonu komaj razločna. Komunikacija v tej obliki je torej nemogoča. Po drugi strani pa glasna glasba na delovanje stroja ne vpliva.

Omenjena primera sta ekstremna, vendar ponazarjata probleme, ki so prisotni pri tehnologiji komunikacij.

Vsak prejemnik torej iz okolice prejema seštevke vseh odbitih, direktnih in razpršenih delov signala, kot tudi signale, ki jih oddajajo druge naprave. Vse to vpliva na kakovost prenosa podatkov, njihov domet in zanesljivost delovanja povezav.

Poglavje 4 Skupek standardov IEEE 802.11

IEEE 802.11 je skupina specifikacij za dostopanje do medija – MAC (media access control- dostop do medija) in fizične plasti PHY (physical layer), ki jih uporabljamo za implementacijo brezžičnih lokalnih omrežij za komunikacijo. Naprave, ki implementirajo standarde IEEE 802.11, delujejo v frekvenčnih območjih 2,4 GHz, 3,6 GHz, 5,8 GHz in 60 GHz.

Družina IEEE 802.11 je sestavljena iz različnih pristopov, ki jih uporabljamo za prenos informacije po prostoru. Vsi uporabljajo isti osnovni protokol, ki se je zaradi vse višjih zahtev uporabnikov skozi čas razvijal in nadgrajeval. IEEE 802.11-1997 je bil prvi razvit, vendar je IEEE 802.11 postal popularen šele v različici IEEE 802.11b. Sledili so mu še 802.11a, 802.11g, 802.11n in 802.11ac. Ostali standardi (c-f, h, j), so dodatki, razširitve ali popravki predhodnih različic. Vsaka različica vsebuje specifikacije o frekvenčnem pasu, v katerem deluje, podprte načine modulacije signala, podprte varnostne standarde (enkripcije), kasneje tudi število anten.

IEEE 802.11b in IEEE 802.11g delujeta na 2,4 GHz ISM frekvenčnem območju. Na tem delu frekvenčnega spektra najdemo precej naprav, ki lahko zmotijo delovanje omrežja. Standardi IEEE 802.11a, n in ac se tem motnjam izognejo, ker delujejo v 5,8 GHz ISM frekvenčnem območju, ki je manj zasedeno.

Pomembnejši koraki, ki so na začetku pripomogli k hitremu razvoju in široki uporabi standardov IEEE 802.11 so med drugimi:

- Ameriški zvezni odbor za komunikacije (Federal Communications Commission) je v letu 1985 [12] določil, da se lahko frekvenče razpone na območjih 900 MHz, 2,4 GHz in 5,8 GHz uporablja brez plačila licenc.
- Velika podjetja, ki so bila vključena v razvoj teh standardov pod imenom WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance, danes poznana kot Wi-Fi Alliance) so določila ime nove tehnologije - Wi-Fi [13]. Wi-Fi Alliance je neprofitna organizacija, ki promovira brezžično tehnologijo Wi-Fi in podeljuje certifikate za naprave, ki podpirajo standarde IEEE 802.11 [14].

- Prvi delujoči standardi so se pojavili med letoma 1997 in 1999 [15], vendar se jih le redko kje še uporablja.

4.1 Oddajna moč in frekvenčni pasovi

Naprave, ki uporabljajo standard IEEE 802.11 delujejo v najhitrejšem možnem načinu, ki jim ga omogočajo trenutne razmere. Če v okolici ni motečih elementov in je moč signala visoka, potem se bo prejemnik povezal z oddajnikom pri najvišji možni hitrosti, ki jo oba podpirata. Ob poslabšanih pogojih naprave samodejno preklopijo na zanesljivejše in posledično počasnejše načine delovanja.

Za lažjo predstavo vzamemo primer govorca in poslušalca, ki se nahaja v veliki koncertni dvorani. Govorec vedno govori z isto jakostjo glasu. Ko se poslušalec nahaja v neposredni bližini, je razumevanje govora jasno.

Z oddaljevanjem prejemnika od oddajnika moč prejetega signala pada, vendar je lahko brez motenj hitrost prenosa še vedno visoka. Poslušalec se v tem primeru nahaja nekaj metrov proč od govorca, vendar ga še vedno popolnoma razume. Ko je razdalja res velika je tudi govor oz. signal prešibak, da bi ga razločil. Nekje vmes se pojavi primer, ko prejemnik ali poslušalec ob večkratni ponovitvi signala oz. izgovorjene besede še vedno razume sporočilo.

Ko se med odjemalcem in oddajnikom pojavijo ovire, je moč prejetega signala nižja, tudi če je razdalja med njima majhna – nekaj metrov. Poslušalec govorca sliši tudi za pregrado, vendar je govor z njegovega stališča tišji, oslavljen – podobno kot v primeru povečane razdalje med njima. V primeru, ko je ovir več oz. te predstavljajo nepremostljiv objekt za potovanje signala, prejemnik ne razpozna več ničesar, kar oddajnik sporoča. Poslušalec govorca ne sliši, če se premakne v prostor, ki je zvočno izoliran. Za radijske signale različne snovi predstavljajo različne ovire. Armiran beton, kovinska mreža ali kak drug objekt lahko signal popolnoma oslabi, medtem ko tanjše stene, les ali steklo ne vplivajo tako močno na izgubo signala.

Opisani problemi se lahko rešujejo na tri načine:

- Povečanje moči signala
- Usmerjevanje signala
- Boljši sprejemnik

Ker je oddajna moč za standarde po IEEE 802.11 omejena, v Evropi to znaša 100 mW [16], je način za povečanje dometa usmerjena antena v kombinaciji z boljšo sprejemno anteno.

Trenutni rekord drži Italijanski center za radijske dejavnosti CISAR in pri omenjeni oddajni moči znaša 304 km [17].

Drugo težavo pri prenosu signala predstavljajo zunanje motnje.

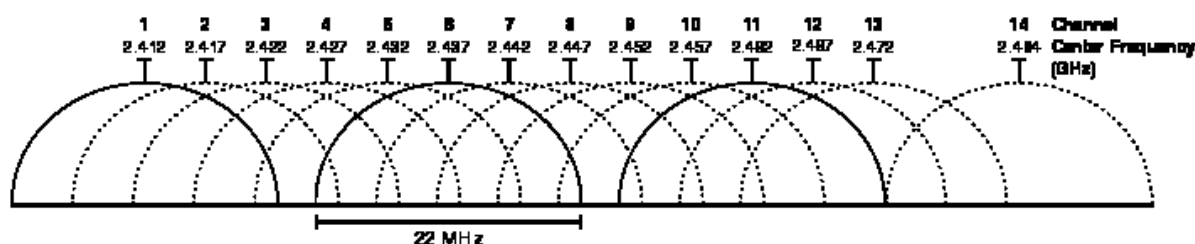
Kot v zgornjih scenarijih imamo tudi tukaj dva primera, enega z oddajnikom in sprejemnikom, drugega z govorcem in poslušalcem.

V prvem primeru se oddajnik in sprejemnik nahajata v neposredni bližini, poleg njiju je v istem prostoru še množica naprav, ki komunicirajo na istih frekvencah. V primeru govorca in poslušalca se oba nahajata v koncertni dvorani, kjer se nahaja še kup drugih ljudi, v ozadju igra glasba, iz okolice prihaja hrup, oddajnik in prejemnik v tem primeru nista sama, ampak v njuni okolici deluje še kup drugih oddajnikov in sprejemnikov. Dokler sta dovolj blizu, prejemnik ali poslušalec razumeta, kaj jima oddajnik oz. govorec sporočata.

Ko se razdalja poveča, je okoliških motenj preveč in je razmerje med koristnim signalom (govorom) in motnjami (hrupom) prenizko, zato je informacija težje razumljiva. Poslušalec lahko vpraša govornika ali lahko ponovi, kar je ravno kar povedal. Oddajnik skuša podatke prenesti bolj razumljivo s ponavljanjem iste vrednosti več časa.

Ko je signal prešibek, pravimo, da omrežje ni več v dometu oziroma ni dosegljivo. V primeru, ko je v okolici veliko motenj, je sicer omrežje dosegljivo, ni pa nujno, da bo komunikacija potekala nemoteno. Mero, ki jo uporabljamo za določanje razmerja med signalom in šumom, imenujemo SNR (signal to noise ratio) [18].

Motnjam se lahko izognemo, če poskusimo uporabiti drug del frekvenčnega območja znotraj pasu ali pa kar drug frekvenčni pas – 5 GHz namesto 2,4 GHz. 5 GHz območje je namreč manj zasedeno. IEEE 802.11 standardi v ta namen uporabljajo kanale – to so podobmočja v frekvenčnem pasu. Običajno jih izbere uporabnik, ko nastavlja dostopno točko.



Slika 7: Frekvenčni pasovi na območju 2,4 GHz IEEE 802.11b/g/n [19]

Iz slike lahko razberemo, da se kanali 1, 6 in 11 ne prekrivajo, kar lahko razumemo, da se tri dostopne točke – oddajniki, ki delujejo v istem območju na teh kanalih ne povzročajo

medsebojnih motenj. Podobno velja še za kombinacije kanalov 2, 7, 12 ter 3, 8, 13. Nekatere države omejujejo uporabo določenih kanalov.

Channel	Frequency (MHz)	North America [5]	Japan [5]	Most of world [5][6][7][8][9][10][11]
1	2412	Yes	Yes	Yes ^D
2	2417	Yes	Yes	Yes ^D
3	2422	Yes	Yes	Yes ^D
4	2427	Yes	Yes	Yes ^D
5	2432	Yes	Yes	Yes
6	2437	Yes	Yes	Yes
7	2442	Yes	Yes	Yes
8	2447	Yes	Yes	Yes
9	2452	Yes	Yes	Yes
10	2457	Yes	Yes	Yes
11	2462	Yes	Yes	Yes
12	2467	No ^B	Yes	Yes
13	2472	No ^B	Yes	Yes
14	2484	No	11b only ^C	No

Tabela 3: Dovoljena uporaba kanalov glede na regijo [19]

4.2 Procesiranje signala

Procesiranje se ukvarja z obdelavo signala. Za svoje delovanje upošteva fizikalne zakonitosti, statistične in matematične funkcije [20]. Podobno operacijo opravljajo tudi človeški možgani, ko včasih slišano informacijo šele čez nekaj trenutkov pravilno interpretiramo. Naši možgani prejet zvok obdelajo, analizirajo in izvelečejo koristne informacije.

IEEE 802.11 je skozi razvoj pridobival vedno boljše oblike za procesiranje signala, od enostavnih, pa do bolj kompleksnih in robustnejših.

FEC [21] (Forward error correction) - vnaprejšnje odpravljanje napak skrbi za zanesljivejši prenos podatkov. Uporabljajo ga vse različice standarda. Osnovni primer uporabe FEC predstavlja kodiranje enega bita s tremi. Namesto oddane vrednosti, ki predstavlja logično 1,

so oddane tri vrednosti, ki predstavljajo logično 1. Tudi v primeru, ko je ena izmed njih razumljena drugače: 101, 011, 110, bo prejemnik razumel prejeto vrednost kot 1. Enostaven pristop, ki dvigne zanesljivost prenesene informacije na ta način terja svoj davek, saj 1 prenesen bit zasede kar trikrat več kot sicer. Za doseganje višjega izkoristka se uporabljajo naprednejše oblike FEC.

Z dvigom procesorske moči so mlajši standardi s pomočjo procesiranja signalov dosegli bistveno višje hitrosti od svojih predhodnikov. Naprave, ki podpirajo standarde IEEE 802.11 z več kot eno anteno, lahko s pomočjo meritev in matematičnih formul izračunajo odboje signalov. Z upoštevanjem meritev prejetega signala pripravijo popravljen matematični model, ki ga upoštevajo pri prejemanju kasnejših signalov. Na ta način naprava izkorišča odboje v svoj prid.

4.3 Razvoj standarda IEEE 802.11 skozi leta

Prvotni IEEE 802.11 je bil določen leta 1997 in v letu 1999 izpopolnjen. Določal je dve hitrosti delovanja, 1 ali 2 Mbps (mega bit na sekundo, 1.000.000 bitov na sekundo), in FEC, ki skrbi, da je prenos podatkov zanesljivejši in skrbi za odpravo napak pri prejetem signalu.

Zajemal je tri fizične načine delovanja

- Prvi je uporabljal difuzno IR (infra rdečo) svetlobo in deloval pri hitrosti 1Mbps, vendar ni bil nikoli implementiran v komercialnih produktih
- Drugi je uporabljal FHSS (Frequency-hopping spread spectrum - preklopni način prenosa radijskih valov) in deloval pri hitrostih 1 in 2 Mbps
- Tretji način je uporabljal DSSS (direct-sequence spread spectrum – direktni način) za prenos radijskega signala, prav tako pri hitrostih 1 ali 2 Mbps.

Radijska načina sta delovala na frekvenčnem razponu 2,4 GHz. [22]

IEEE 802.11a je po ratifikaciji prvotnega IEEE 802.11 ugledal luč sveta leta 1999. Za razliko od prvotnega standarda, IEEE 802.11a deluje v frekvenčnem območju 5,8 GHz. Najvišja hitrost, pri kateri poteka prenos podatkov je 54 Mbps ($54 \cdot 10^6$ bitov na sekundo). Pri prenosu uporablja metodo OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) [23], ki omogoča kodiranje digitalnega signala na več vzporednih frekvencah hkrati. To omogoča hitrejši prenos podatkov z manj popačenji in višjo odpornostjo na motnje iz okolice.

Naprave, ki podpirajo ta način delovanja, avtomatsko preklaplajo med 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9 in 6 Mbps hitrostmi glede na kvaliteto in moč signala. Standard določa 12 frekvenčnih kanalov na podoben način kot je prikazan za območje 2,4 GHz na sliki 7.

Prednost prenašanja podatkov na višji frekvenci je predvsem nižja zasedenost tega frekvenčnega območja. Komunikacijskih elektronskih izdelkov, ki delujejo na 5,8 GHz, je namreč manj kot tistih na 2,4 GHz. Slaba stran višjih frekvenc je krajša valovna dolžina in s tem višja absorpcija signala med prehodom skozi zidove in ostale trde ovire, kar pomeni nižji efektivni doseg. Signal se tako prej porazgubi in zato naprave, ki delujejo v načinu IEEE 802.11a, običajno dosegajo krajše razdalje od tistih, ki delujejo v frekvenčnem območju 2,4 GHz [24].

IEEE 802.11a uporablja različne načine modulacije signala, med katere spadajo BPSK (binary phase-shift keying) [25], QPSK (quadrature phase-shift keying) [26] in QAM (quadrature amplitude modulation) [27].

Na spodnji razpredelnici lahko razberemo načine, v katerih deluje IEEE 802.11a, in kakšne hitrosti dosega glede na uporabljeno vrsto modulacije in FEC razmerje. FEC razmerje je razmerje med tem, koliko bitov informacije se prenese in koliko bitov se pri tem porabi. Razmerje 3/4 pomeni, da so za prenos treh bitov informacije potrebni štirje biti. To razmerje sovпада s količnikom med neto in bruto hitrostjo prenosa.

Mod.	Net	Gross	FEC	Efficiency	$T_{1472\text{ B}}$ <small>[clarification needed]</small>
	(Mbit/s)	(Mbit/s)	rate	(bit/sym.)	(μs)
BPSK	6	12	1/2	24	2012
BPSK	9	12	3/4	36	1344
QPSK	12	24	1/2	48	1008
QPSK	18	24	3/4	72	672
16-QAM	24	48	1/2	96	504
16-QAM	36	48	3/4	144	336
64-QAM	48	72	2/3	192	252
64-QAM	54	72	3/4	216	224

Tabela 4: Načini delovanja IEEE 802.11a [28]

IEEE 802.11b zagotavlja najvišjo hitrost prenosa podatkov pri 11 Mbps in deluje v območju 2,4 GHz. Fizično se ne razlikuje od prvotnega standarda, uporablja pa izboljšano modulacijo

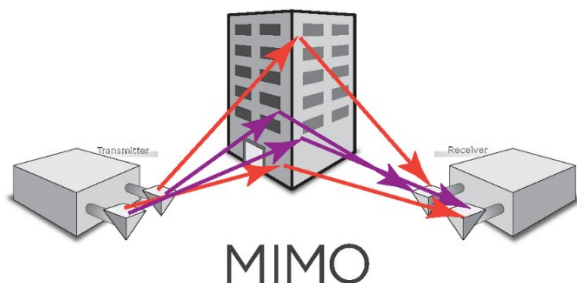
signala, CCK (complementary code keying), [29], kar mu omogoča hitrejše prenosne hitrosti. Izdelki, ki podpirajo ta standard, so se na trgu pojavili leta 2000, njihova dostopnejša cena pa je privedla do hitrejše širitve tehnologije. Z odbitkom kontrolnih bitov in bitov, ki so namenjeni za CSMA/CA (carrier sense multiple access with collision avoidance) [30], prenosne hitrosti znašajo približno 5,9 Mbps s protokolom TCP (transmission control protocol) [31], ki zagotavlja, da so podatki uspešno preneseni oz. 7,1 Mbps s protokolom UDP (user datagram protocol) [32], ki se uporablja za pretočne storitve, kjer integriteta podatkov ni bistvena. V primeru, ko se pri prenosu pojavijo napake zaradi motenj ali ostalih dejavnikov, standard omogoča delovanje še pri hitrostih 5,5 Mbps, 2 Mbps in 1 Mbps.

IEEE 802.11g je tretja različica standarda, ki za delovanje uporablja 2,4 GHz frekvenčni pas. Uporablja isto metodo OFDM kot IEEE 802.11a. Deluje do prenosnih hitrosti 54 Mbps, od katerih je povprečna uporabna hitrost okrog 22 Mbps. Najvišja hitrost ob uporabi CSMA/CA znaša teoretično 31,4 Mbps, vendar to velja samo za pakete z dolžino 1500 bajtov, ki je tudi zgornja meja podatkovnih bitov za Ethernet okvirje [33], ki se uporabljajo pri vseh IEEE 802.11 standardih. Hitrost prenosa uporabniških podatkov je vedno nižja od deklarirane. Oglaševana hitrost je bruto hitrost prenosa podatkov, ki med drugim vključuje podatke, ki so del komunikacijskega protokola. Razlika se pojavi tudi na račun FEC razmerja. Strojna oprema je skladna s standardom IEEE 802.11b, saj na hitrostih pod 11 Mbps preklopi na CCK modulacijo, za 2 in 1 Mbps pa na BPSK modulacijo. Višje hitrosti prenosa v primerjavi z IEEE 802.11b so posledica uporabe iste modulacije, ki jo uporablja IEEE 802.11a. V letu 2003 so pričeli z izdelavo naprav, ki so podpirale standard še preden je bil le-ta ratificiran. Večina novih naprav z dvema kanaloma (dual band) je v poletju 2003 že podpirala vse tri načine delovanja (a, b in g) ter oba frekvenčna pasova.

S povišanim povpraševanjem in prodajo naprav za brezžična omrežja je že od prej popularno območje 2,4 GHz postalo še bolj zasedeno. Združene države Amerike, Evropske države, pa tudi ostali svet, so določile kanale, ki se ne prekrivajo in ki jih je priporočeno uporabiti, da se uporabniki izognejo prekrivanju signalov s sosednimi omrežji. V Ameriki in Evropi poznajo tri takšne pasove, ki ob upoštevanju zmanjšujejo šum in zvišujejo kakovost prenosa signala [34].

IEEE 802.11n je prinesel novost na področju uporabe števila anten na dostopnih točkah. Standard podpira uporabo do štirih anten za oddajanje in do štirih anten za sprejemanje signala ter deluje v frekvenčnem območju 2,4 in 5 GHz. Možna je uporaba več podatkovnih tokov. Njihovo število je omejeno s številom anten. MIMO (multiple-input multiple-output) antene omogočajo hitrejše prenosne hitrosti v primerjavi z eno, ker izkoriščajo širjenje

signalov po različnih poteh. Temu pristopu rečemo tudi prostorsko multipleksiranje [35]. Število vzporednih signalov določa najmanjše število anten med dvema napravama.



Slika 8: MIMO - različne poti signalov od oddajnika do prejemnika omogočajo več podatkovnih tokov med napravama [36]

Teoretične hitrosti, ki jih standard podpira, znašajo 150Mbps na vsak prenosni tok, če se za vsak kanal uporabi pasovno širino 40 MHz. V primeru uporabe pasovne širine 20MHz na vsak kanal, te hitrosti padejo na manj kot polovico.

Število anten in širši frekvenčni pasovi so ključ za doseganje visokih hitrosti, vendar je uporaba 40MHz pasov pogostejša na 5GHz območju, ker je 2,4 GHz območje običajno bolj zasedeno in ob rabi enkrat večjega pasu naprava zasede večji elektromagnetni spekter, kar lahko povzroča motnje za naprave, ki uporabljajo isto frekvenco.

Več anten standard uporablja tudi za predhodno kodiranje signala, ki spada v del procesiranja signala. Z metodo prostorske izdelave signala (spatial beamforming) [37] IEEE 802.11n dosega zanesljivejše prenose oz. v slabših pogojih višje prenosne hitrosti od svojih predhodnikov. To dosega z merjenjem časovnih razlik prejetega signala na eni in drugi anteni in to razliko upošteva pri dohodnih in odhodnih signalih, kar lahko bistveno zmanjša število napak v primeru odbojev. Isto metoda je uporabljena tudi na prejemnikovi strani, če prejemnik uporablja vsaj dve anteni.

Vse omenjene prednosti so omejene glede na najmanjše število anten, ki se pojavijo pri napravah, ki med seboj komunicirajo. Če oddajnik uporablja štiri antene, prejemnik pa le dve, bo komunikacija potekala zgolj v načinu z dvema antenama.

Zapis, ki ga uporabljamo za označevanje različnih konfiguracij, je sestavljen iz formule $a \times b : c$, kjer a pomeni število oddajnih, b število prejemnih anten, c pa število hkratnih prenosnih tokov, ki jih lahko naprava uporablja. Najbolj pogoste konfiguracije so $2 \times 2 : 2$, $2 \times 3 : 2$ in 3

2×2 ter v zadnjem času 3×3 , ki za razliko od prvih treh omogoča višjo hitrost zaradi dodatnega prenosnega toka in znaša 450 Mbps.

IEEE 802.11n vključuje tudi kopičenje okvirjev (frame aggregation) in tako zmanjšuje število bitov porabljenih za MAC (Media Access Control). Pohitritev je rezultat večanja okvirjev in s tem povečanja deleža bitov, ki predstavljajo uporabne podatke. Načina, ki to omogočata, se imenujeta MSDU (MAC Service Data Unit) in MPDU (MAC Protocol Data Unit). [38]

IEEE 802.11n torej poleg višjih fizičnih hitrosti prinaša tudi višji izkoristek pri prenosu informacije.

Tabela 5 prikazuje različne hitrosti prenosa glede na število uporabljenih prostorskih tokov (spatial streams), modulacijo, izkoristek pri kodiranju signala (coding rate) in širino kanala. Coding rate predstavlja isto spremenljivko, ki je prisotna v tabeli 4 pod imenom FEC rate.

MCS index	Spatial streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (Mbit/s)			
				20 MHz channel		40 MHz channel	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15
1	1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45
3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60
4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90
5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135
7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150
8	2	BPSK	1/2	13	14.4	27	30
9	2	QPSK	1/2	26	28.9	54	60
10	2	QPSK	3/4	39	43.3	81	90
11	2	16-QAM	1/2	52	57.8	108	120
12	2	16-QAM	3/4	78	86.7	162	180
13	2	64-QAM	2/3	104	115.6	216	240
14	2	64-QAM	3/4	117	130	243	270
15	2	64-QAM	5/6	130	144.4	270	300
16	3	BPSK	1/2	19.5	21.7	40.5	45
17	3	QPSK	1/2	39	43.3	81	90
18	3	QPSK	3/4	58.5	65	121.5	135
19	3	16-QAM	1/2	78	86.7	162	180
20	3	16-QAM	3/4	117	130	243	270
21	3	64-QAM	2/3	156	173.3	324	360
22	3	64-QAM	3/4	175.5	195	364.5	405
23	3	64-QAM	5/6	195	216.7	405	450
24	4	BPSK	1/2	26	28.8	54	60
25	4	QPSK	1/2	52	57.6	108	120
26	4	QPSK	3/4	78	86.8	162	180
27	4	16-QAM	1/2	104	115.6	216	240
28	4	16-QAM	3/4	156	173.2	324	360
29	4	64-QAM	2/3	208	231.2	432	480
30	4	64-QAM	3/4	234	260	486	540
31	4	64-QAM	5/6	260	288.8	540	600
32	1	BPSK	1/2	N/A	N/A	6.0	6.7

Tabela 5: Načini delovanja IEEE 802.11n pri različnih konfiguracijah [39]

IEEE 802.11ac je najnovejši standard, ki deluje na območjih 2,4GHz in 5 GHz ter prinaša visoke pohitritve pri prenosu podatkov. Standard se osredotoča na uporabo višje frekvenčnega območja in uporablja širše frekvenčne kanale v obsegu do 160 MHz, do osem MIMO prostorskih tokov, večuporabniški MIMO (Multi-user MIMO) in modulacijo signala z visoko gostoto [40]. Večuporabniški MIMO je skupek tehnologij, ki omogoča komunikacijo več dostopnih točk z več različnimi uporabniki hkrati v istem frekvenčnem območju. Pri uporabi tega načina je predhodno procesiranje signala ključnega pomena, saj je brez tega uporaba MU-MIMO nemogoča [41]. Naprave, ki podpirajo način IEEE 802.11ac, morajo zagotavljati kanalne pasove v širini najmanj 80 MHz, poenoten beamforming (način izdelave žarkov oz. tokov) za skladnost med različnimi proizvajalci ter mehanizme za istočasno delovanje v kombinacijah z napravami 11ac in 11a/n. Poleg tega imajo možnost podpore:

- Petim do osmim MIMO tokovom, prej do štirim
- 160 MHz široke kanale
- Uporabo dveh ločenih 80 MHz kanalov hkrati
- Možnost uporabe modulacije 256-QAM, FEC razmerje 3/4 in 5/6

Tabela 6 prikazuje teoretične hitrosti različnih načinov, ki jih podpira novi standard IEEE 802.11ac glede na modulacijo, izkoristek pri kodiranju (coding rate ali FEC rate), ter širino uporabljenega kanala.

Theoretical throughput for single Spatial Stream (in Mbit/s) ^[a]										
MCS index ^[b]	Modulation type	Coding rate	20 MHz channels		40 MHz channels		80 MHz channels		160 MHz channels	
			800 ns GI ^[c]	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15	29.3	32.5	58.5	65
1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
2	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
3	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
4	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
5	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120	234	260	468	520
6	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
7	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150	292.5	325	585	650
8	256-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
9	256-QAM	5/6	N/A	N/A	180	200	390	433.3	780	866.7

Tabela 6: Teoretične hitrosti prenosa ob uporabi različnih načinov IEEE 802.11ac [40]

4.4 Wi-Fi Alliance

Wi-Fi Alliance je neprofitna organizacija, ki promovira tehnologijo Wi-Fi. Sestavljena je bila na pobudo podjetji, ki so pričela z izdelavo naprav, ki implementirajo standarde IEEE 802.11. Njihov najpomembnejši cilj je skrbeti za medsebojno delovanje naprav, ki so jih izdelali različni proizvajalci. Danes je večina naprav, ki podpirajo standarde IEEE 802.11 in so dostopne na trgu, opremljenih z oznako, ki je prikazana na spodnji sliki.



Slika 9: Wi-Fi logotip [42]

Oznaka pomeni, da je naprava prestala testiranja in preizkuse delovanja z ostalimi Wi-Fi napravami in je pridobila certifikat. Odsotnost certifikata in oznake na napravah pa ne pomeni, da ne bodo pravilno delovale ali ne bodo bile združljive s certificiranimi napravami. Nekateri cenovno ugodni produkti se zaradi nižanja cene namreč ne dajejo v pregled [14].

Wi-Fi oznaka je dobro poznana po celotnem svetu in se pogosto uporablja tudi za laično označevanje brezžičnih omrežji, ki delujejo po standardih IEEE 802.11. Najdemo jo praktično povsod, bodisi napisane na tabli pred lokalom ali na nalepki pred vhodom v hostel. S sledenjem tem oznakam lahko tudi nekdo, ki nima naprave, dobi občutek, kako velik je postal ekosistem, ki zajema brezžično omrežje po IEEE 802.11. Če bi lahko prikazali vse signale, ki jih oddajajo Wi-Fi naprave, bi bili nekateri presenečeni, kako velik del območja je pokrit z njimi.

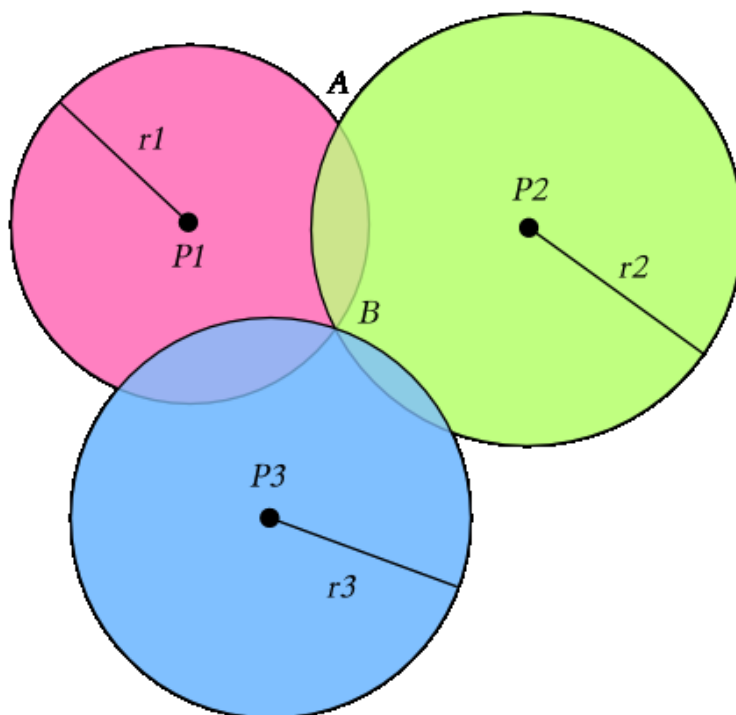
Poglavje 5 Globalni sistem za določanje položaja - GPS

Drugi del, ki ga pri tem diplomskem delu obravnavamo, je uporaba oz. pridobivanje informacije o lokaciji.

Tehnologija GPS, ki je bila osnovana že leta 1973 [43], je danes vgrajena v praktično vsak pametni telefon ali tablico. Z GPS tehnologijo lahko pridobimo lokacijo naprave.

5.1 Kaj je GPS?

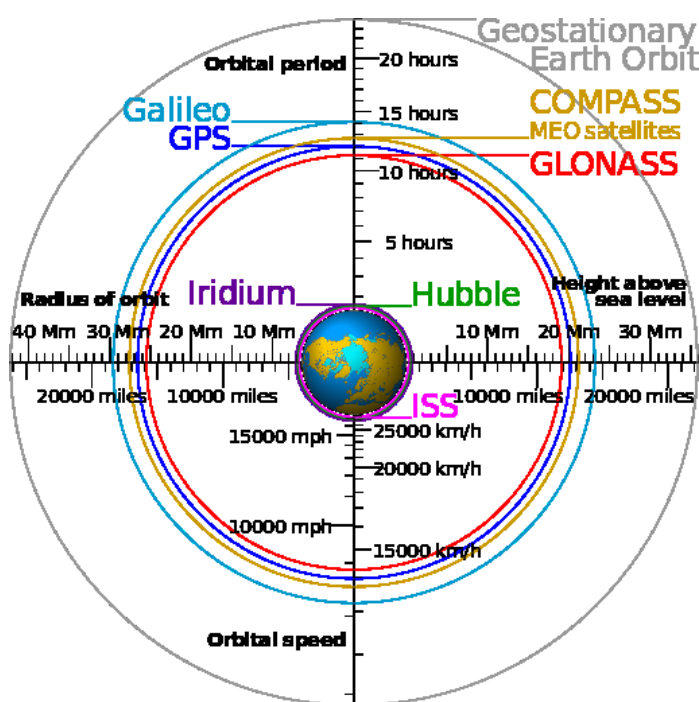
Tehnologija GPS je način pridobivanja lokacije z uporabo satelitov. Sateliti se nahajajo v srednji zemeljski orbiti na oddaljenosti okrog 20.200 km [44] in so razporejeni v določeno razvrstitev oz. drugo besedo konstelacijo. Razporejeni so enakomerno, da zagotavljajo dobro pokritost po celotni zemeljski obli. Lokacija naprave, ki deluje kot GPS sprejemnik se izračuna z uporabo trilateracije. Trilateracija je metoda določanja iskane točke, če poznamo njeno oddaljenost od vsaj treh poznanih točk [45]. Podrobneje v nadaljevanju.



Slika 10: Trilateracija [46]

Slika 10 nam prikazuje, kako enolično določimo lokacijo točke B, če poznamo lokacijo točk P1, P2 in P3 ter razdalje med njimi in iskano točko B.

Slika 11 prikazuje nadmorsko višino GPS satelitov ter njihovo orbitalno hitrost, orbitalno periodo in premer orbite v primerjavi z nekaterimi drugimi sistemi in sateliti, ki se nahajajo v Zemeljski orbiti. Omenimo še, da sistem GLONASS (Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema) predstavlja rusko različico tehnologije za določanje globalne lokacije s pomočjo satelitov [47] in da je podprt v nekaterih napravah, ki uporabljajo tudi GPS sistem. Naprave, ki uporabljajo oba sistema, omogočajo hitrejšo in natančnejšo določanje lokacije. Galileo je projekt Evropske unije in trenutno še ni v operativni rabi [48].



Slika 11: Prikaz informacij (hitrost, obhodna perioda, oddaljenost od morske gladine zemlje ter radij orbite) o različnih sistemih satelitov in ostalih objektov v Zemeljski orbiti [44]

5.2 Kratka zgodovina GPS

GPS je za svojo uporabo razvila ameriška vojska. Zgodnje različice določanja lokacije po omenjenem principu so uspešno izvedli že v šestdesetih letih prejšnjega stoletja, tehnologija se je imenovala Transit ali NAVSAT (Navy Navigation Satellite System) in je pravilno delovala z uporabo petih satelitov. SECOR je drugi predhodnik GPS, ki je za svoje delovanje uporabljal tri oddajnike z znanih lokacij na zemlji in enega satelita v orbiti. Naprava je svojo

lokacijo lahko izračunala glede na signale, ki jih je prejela preko satelita. Satelit je v tem načinu deloval kot ogledalo, od katerega so se signali z zemeljskih postaj odbili do naprave, ki je želela izračunati svojo lokacijo. Takšen pristop je omogočal pravilno določanje lokacije, še preden je bilo nebo pokrito z dovolj velikim številom satelitov, ki jih tehnologija uporablja danes. GPS nekateri predstavljajo tudi kot evolucijo SECORja, pri katerem so se vse oddajne postaje preselile v orbito.

DNSS (Defense Navigation Satellite System) je bila prva oznaka za sistem, ki ga danes poznamo in je bil prvič uporabljen leta 1973. Kasneje so ga preimenovali v Navstar (Navigation system using timing and ranging), skupek satelitov pa je bil poimenovan Navstar-GPS, na koncu poenostavljeno na GPS.

Po sestrelitvi Boeinga 747 leta 1983, v kateri je zaradi kršenja sovjetskega zračnega prostora življenje izgubilo 269 ljudi, je nekdanji Ameriški predsednik Ronald Reagan izdal direktivo, da bo GPS brezplačno na voljo za javno uporabo, ko bo razvit do zadostne stopnje. Med letoma 1989 in 1994 so izstrelili 24 GPS satelitov. Natančnost določanja lokacije je bila v nekem časovnem obdobju odvisna od tega, kdo je sistem uporabljal. Ameriška vojska je selektivno skrbela, da so imeli civilni uporabniki nižjo natančnost. Za ponovno nediskriminatorno uporabo GPS sistema je bilo potrebno počakati na leto 2000, ko je v veljavo prišla direktiva, ki jo je izdal bivši Ameriški predsednik Bill Clinton.

GPS je še vedno v razvoju in obsega načrtne izstrelitve dodatnih satelitov tudi v prihodnjih, letih v želji po hitrejšem in natančnejšem določanju lokacije.

Block	Launch Period	Satellite launches				Currently in orbit and healthy
		Suc-cess	Fail-ure	In prep-eration	Plan-ned	
I	1978–1985	10	1	0	0	0
II	1989–1990	9	0	0	0	0
IIA	1990–1997	19	0	0	0	6
IIR	1997–2004	12	1	0	0	12
IIR-M	2005–2009	8	0	0	0	7
IIF	From 2010	7	0	5	0	7
IIIA	From 2016	0	0	0	12	0
IIIB	—	0	0	0	8	0
IIIC	—	0	0	0	16	0
Total		65	2	5	36	32

Tabela 7: Stanje GPS satelitov v različnih časovnih obdobjih [49]

Tabela 7 prikazuje načrtno izstreljevanje satelitov skozi leta, število uspešnih in neuspešnih poskusov, število izstrelitev v pripravi in koliko jih še načrtujejo. V zadnjem stolpcu je število trenutno aktivnih satelitov, ki se nahajajo v Zemeljski orbiti.

5.3 Tehnologija

GPS deluje na principu merjenja razdalje med napravo, ki bi rada določila svojo lokacijo na Zemeljski obli, in GPS sateliti, ki se nahajajo v Zemeljski orbiti. Razdalje se preračunajo iz časa, ki ga signal potrebuje, da pripotuje od satelita do naprave. Pri tem je zelo pomembna časovna sinhronizacija, zato je vsak satelit opremljen z atomsko uro, ki je vsakodnevno usklajena z atomsko uro na Zemlji. Pomembna je tudi natančna pozicija vsakega satelita, zato so pod konstantnim nadzorom in potrebne popravke često vnašajo. Vsak GPS satelit Zemljo obkroži dvakrat na dan [50], kar pomeni, da potuje z obodno hitrostjo okrog 14.000 km/h s spreminjajočo oddaljenostjo od površja, ki povprečno znaša 20.200 km. Lahko si predstavljamo, kako zahtevno je zagotavljati visoko natančnost, ki jo uporabniki od takšnega sistema pričakujemo. Sateliti so okrog zemlje razporejeni v konstelacijo 24 aktivnih satelitov, tako da je v vsakem delu dneva z vsake točke na Zemlji, ki ima prost pogled na nebo, omogočeno delovanje GPS sistema.

Naprave, ki jih uporabljamo za določanje pozicije, nimajo tako natančnega časomerilnega mehanizma, zato se ob aktivaciji skušajo sinhronizirati z urami na satelitih. S pomočjo prejetih informacij in lastnih meritev lahko izračunajo točen čas in sinhronizirajo notranjo uro. Pri tem mora GPS naprava upoštevati določene lastnosti, ki se nanašajo na zamude pri potovanju signala skozi atmosfero, ter relativno hitrost posameznih satelitov, s katero krožijo okrog Zemlje. Za uspešno sinhronizacijo časa in določitev lokacije naprava potrebuje signal z vsaj štirih različnih satelitov. Običajno naprava ob vklopu potrebuje nekaj časa, da izračuna svojo lokacijo. Pridobiti mora dovolj informacij, da lahko z dovolj visoko zanesljivostjo določi svoje GPS koordinate. Včasih je prvotna lokacija slabo določena oz. nima dobre natančnosti (le nekaj 10 metrov). Sčasoma se natančnost povečuje, bodisi zaradi upoštevanja popravkov, bodisi zaradi pridobitve informacij z več satelitov. Ta podatek je pomemben, saj ga moramo upoštevati pri realizaciji naše aplikacije. Najboljše rezultate lahko pričakujemo kakšno minuto po tem, ko je lokacija GPS naši napravi znana.

Za boljšo predstavo, zakaj traja določitev GPS koordinat toliko časa, je potrebno analizirati postopek, ki se zgodi ob vklopu naprave. Vemo, da so GPS sateliti veliko večino časa aktivni in vsak od njih konstantno oddaja signal, ki vsebuje:

- Psevdonaključno kodo, ki je poznana prejemniku. S pomočjo časovne izravnave se preračunana različica in prejeta različica te kode lahko vidi na prejemnikovi strani.
- Sporočilo, ki vsebuje čas oddaje (TOT – time of transmission) in lokacijo satelita ob tistem času

Konceptualno torej prejemnik izmeri čas prihoda sporočila (TOA – time of arrival), glede na svojo uro od najmanj štirih satelitov. Iz vseh TOA in TOT nato prejemnik izračuna čas potovanja signala (TOF – time of flight). Pri tem upošteva hitrost signala, ki znaša približno toliko, kot je hitrost svetlobe. Po izračunu dobi oddaljenost do vsakega satelita. V naslednjem koraku prejemnik izračuna svojo lokacijo v prostoru in odstopanje lastne ure glede na vse prejete in zabeležene podatke.

Lokacija se običajno izraža z zemljepisno dolžino in zemljepisno širino ter relativno višino glede na elipsoidni Zemeljski model ali geopotencialni model Zemlje EGM96 [51].

Podobno kot pri ostalih elektromagnetnih signalih, se tudi pri GPS signalu pojavljajo različne napake zaradi motenj, ki so posledica odbojev signala, ovir, ki se lahko pojavijo na poti in šibijo signal (predvsem drevesa), napake pri meritvah zaradi ne sinhronizirane ure in celo namenoma povzročene motnje [52]. To povzroči zmanjšano natančnost pri določanju položaja, vendar na to z običajnimi GPS sprejemniki ne moremo vplivati. Zunanje antene sicer lahko izboljšajo rezultate, vendar pri mobilnih napravah te možnosti zelo pogosto ni. Dovolj je, da se problema zavedamo in ga upoštevamo. GPS sprejemnik nam zato sporoča tudi zanesljivost oz. natančnost prikaza trenutne pozicije.

V najboljšem primeru je lokacija izračunana na 15 metrov natančno, vendar lahko naprave GPS z uporabo dodatnih informacij to natančnost izboljšajo na 3 metre. To je dovolj za reševanje marsikaterih problematike povezane z določanjem lokacije na Zemlji. Omenimo lahko, da se med temi informacijami lahko znajdejo podatki o časovnem zamiku med urama (clock drift), ionosferični zamik pri potovanju signala, upoštevanje predhodnih napak ali uporabo dodatnih navigacijskih informacij (pogosteje uporabljeno za letalski promet in podobno). Več podrobnejših informacij je na voljo na spletni strani Wikipedia, poglavje Global Positioning System [49].

Poglavje 6 Aplikacija WiFreeMaps

Aplikacija WiFreeMaps je namenjena natančnemu prikazu lokacije Wi-Fi omrežij na zemljevidu. Deluje na prenosnih napravah z Android [53] operacijskim sistemom. Aplikacija omogoča iskanje, označevanje in prikazovanje brezžičnih dostopnih točk, ki oddajajo svoj signal. Zbrane informacije lahko deli z drugimi uporabniki aplikacije, saj se podatki zbirajo na oddaljenem strežniku. Ime aplikacije je sestavljeno iz besed Wi-Fi, free (ang. brezplačno) ter besede maps (ang. zemljevid).

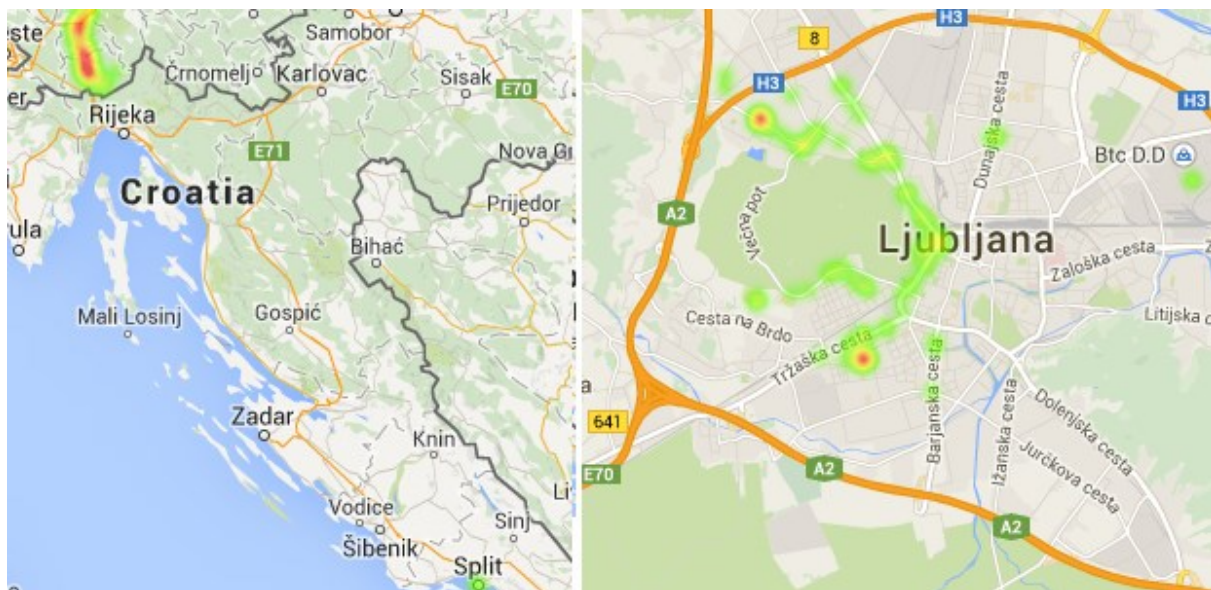
6.1 Kako deluje

Aplikacija zbira informacije o dostopnih točkah. Med zbranimi informacijami sta najpomembnejša njhova imena (SSID ter BSSID) in njihova GPS lokacija. Zbrane podatke lahko prikažemo na zemljevidu z uporabo GPS koordinat. Postopek je precej podoben označevanju točk s pomočjo bucik na navadnem zemljevidu. Ko vemo, kje se nahaja neko brezžično omrežje, na zemljevid dodamo novo buciko, ki ga označuje.

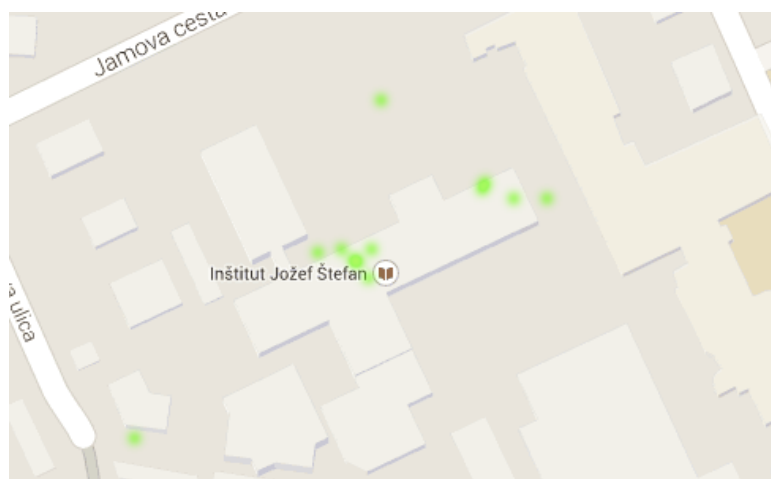


Slika 12: Kako bi ročno označevali brezžična omrežja [54]

Razširjenost mobilnih naprav z ustrezno tehnologijo nam omogoča, da to opravimo precej hitreje. Deljenje zbranih informacij je s pomočjo strežnika precej enostavnejše. Samodejna sinhronizacija lahko poskrbi, da so podatki vedno aktualni. Pri razvoju smo upoštevali možnost prikaza zemljevidov v različnih merilih. To nam na prvi stopnji omogoča prikaz dostopnih točk od daleč. Levi del slike 13 nam prikazuje stanje na nivoju države, desni pa na nivoju mesta.



Slika 13: Prikaz informacij o dostopnih točkah na nivoju države in mesta



Slika 14: Dostopne točke v okolici stavbe Inštituta Jožef Stefan v Ljubljani

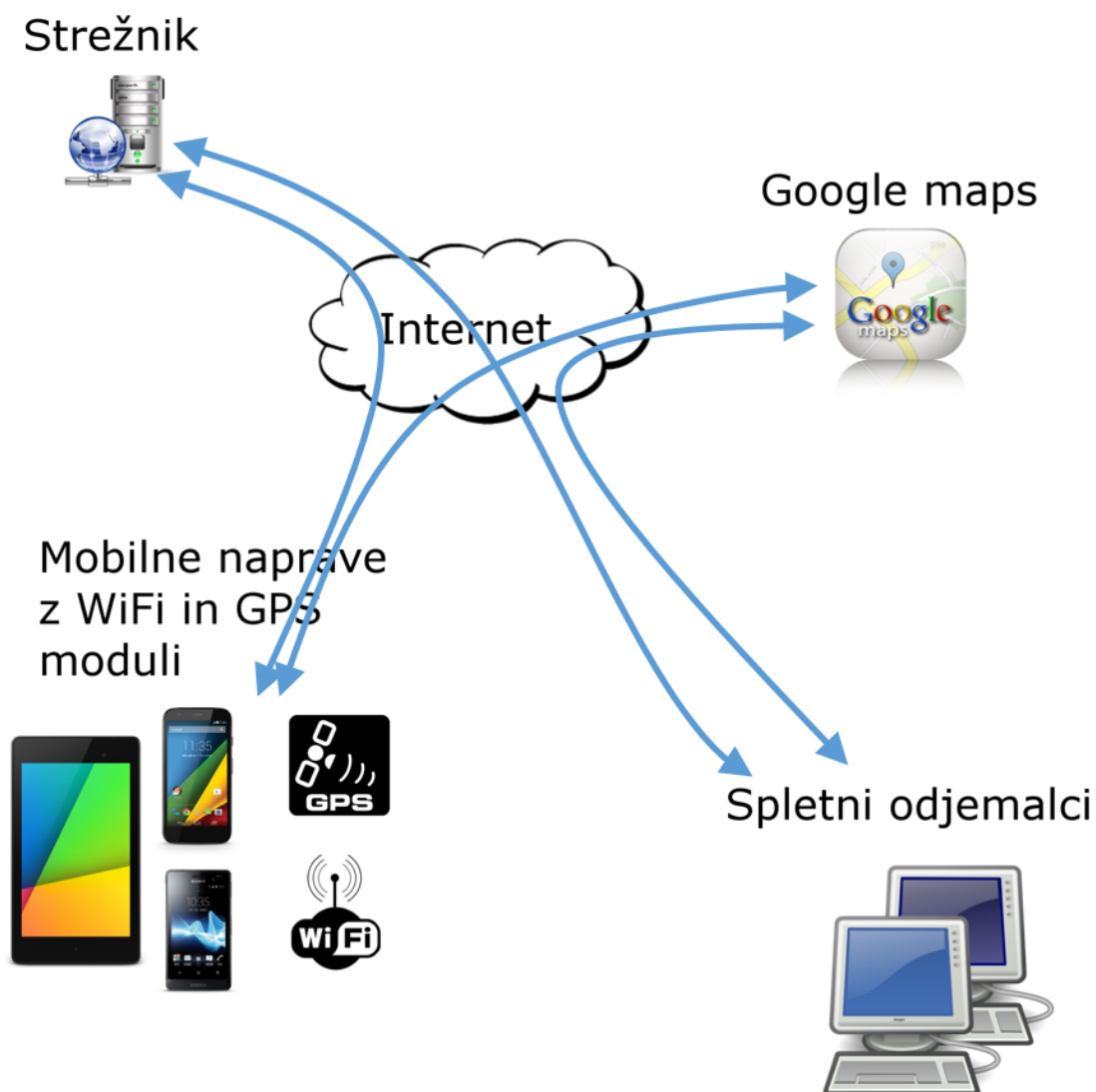
V drugi stopnji smo se odločili za korak naprej. Aplikacija namreč omogoča zbiranje več informacij o vsaki dostopni točki. To pomeni, da za vsako dostopno točko zberemo do 30

GPS koordinat, ki jih lahko umestimo na zemljevid. Na vsaki lokaciji se izmeri tudi jakost signala. Rezultat je veliko natančnejši zemljevid dostopnih točk – primer je prikazan na sliki 14.

Uporabnik si lahko s pomočjo aplikacije izdela natančen zemljevid omrežja, ki ga zanima.

6.2 Sestavni deli celotnega sistema

Celotno aplikacijo sestavlja več komponent, ki jih lahko razdelimo na štiri glavne dele.



Slika 15: Predstavitev aplikacije in njeni sestavni deli

Slika 15 nam prikazuje osnovne komponente celotne aplikacije:

- Mobilne naprave z Wi-Fi in GPS moduli

- Strežnik
- Spletni odjemalci
- Google Maps API (application programming interface – programski vmesnik)

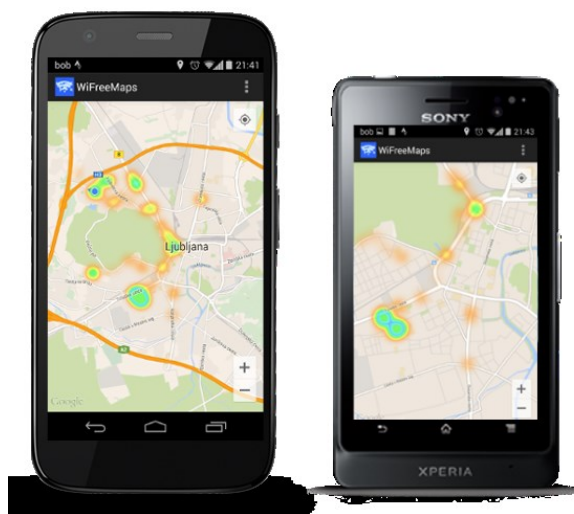
Povezava med različnimi komponentami poteka preko interneta. Internetna povezava je potrebna za nalaganje zemljevidov, za pridobivanje informacij s strežnika in za pošiljanje informacij na strežnik.

Za celoten postopek od razvoja aplikacije do potencialne objave na trgu je v našem primeru cenovno najugodnejši mobilni ekosistem Android. Poleg tega je Android eden izmed najbolj razširjenih mobilnih operacijskih sistemov, ki ima tudi dobro pripravljeno dokumentacijo, veliko primerov ter močno skupnost razvijalcev in programerjev [53].

Slika 16 prikazuje glavne sestavne dele mobilne aplikacije, ki je nameščena na mobilno napravo z Android operacijskim sistemom. Aplikacija s pomočjo GPS in Wi-Fi modulov zbira informacije o omrežjih in njihovih lokacijah. Z uporabo Google Maps [55] lahko zbrane podatke prikaže na zemljevidu. Dodatna naloga aplikacije je, da informacije o dostopnih točkah pošlje na strežnik. S strežnika lahko tudi prejme podatke, ki so jih prispevali drugi uporabniki.

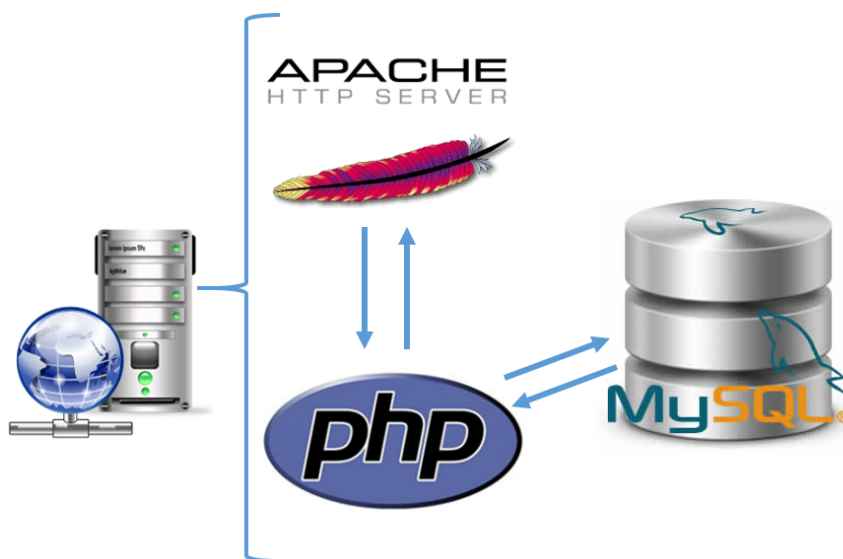


Slika 16: Glavni sestavni deli mobilne aplikacije



Slika 17: Aplikacija WiFreeMaps na Motoroli MotoG 4G in Sony Xperia GO ST27i

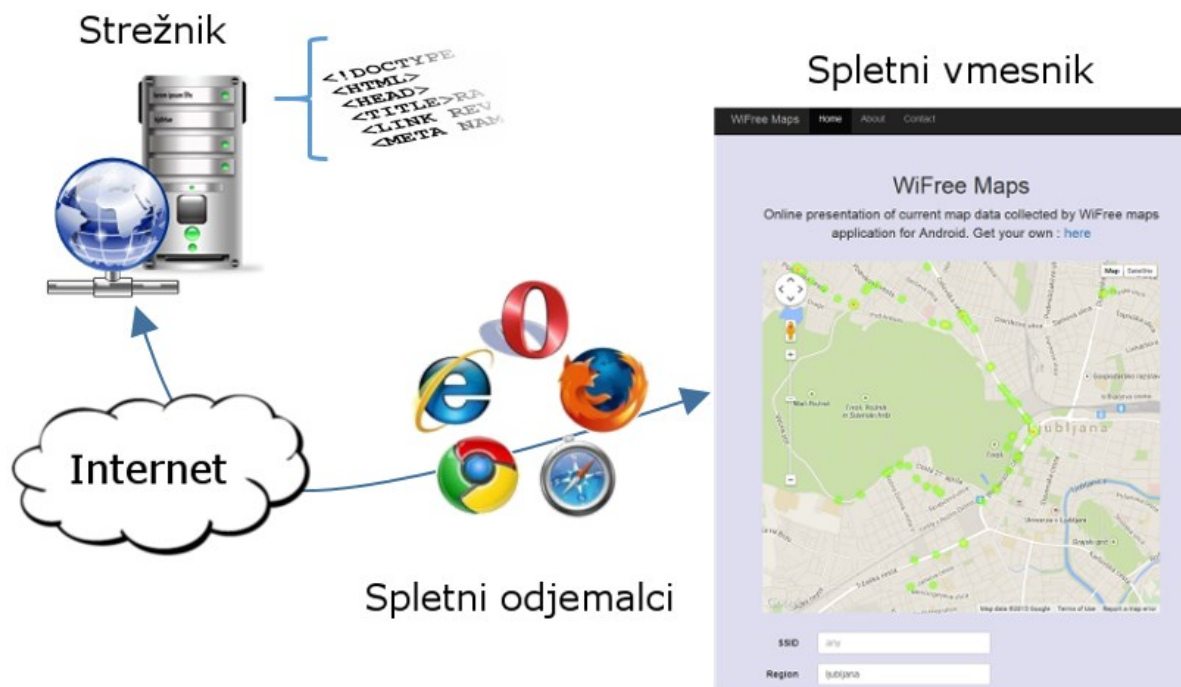
Strežnik, ki ga prikazuje slika 18, služi kot repozitorij za podatke, ki jih prejme od mobilnih aplikacij. Podatki se shranjujejo v podatkovno bazo in so na voljo ostalim mobilnim aplikacijam ter spletnemu vmesniku. Spletni vmesnik se prav tako nahaja na tem strežniku.



Slika 18: Sestavni deli strežnika

Dostop do strežnika je mogoč preko HTTP [56] protokola za katerega skrbi Apache strežnik [57]. PHP [58] strežnik služi kot vmesnik do MySQL [59] podatkovne baze.

Spletni odjemalci so namenjeni brskanju po spletu. Omogočajo prikaz spletnih strani. V aplikacijo WiFreeMaps je vključen tudi spletni vmesnik, ki je nameščen na strežniku. Slika 19 prikazuje dostop in uporabo spletnega vmesnika.



Slika 19: Spletni vmesnik, do katerega se preko interneta dostopa s spletnimi odjemalci

Google Maps je vir zemljevidov za aplikacijo na mobilnih napravah in na spletnem vmesniku. Dostop omogoča Google preko svojega API-ja. Njegova uporaba je brezplačna, če ne presežemo dovoljenih kvot [60]. API omogoča prikazovanje zemljevidov, na katere je mogoče dodajati lastne oznake. Z oznakami lahko prikažemo lokacijo in obseg omrežja dostopnih točk na zemljevidu.

Razlika v prikazu točk med spletnim in mobilnim vmesnikom tiči v uporabi različnih knjižnic za prikaz oznak. Na tem mestu velja še poudariti, da je količina informacij med mobilno aplikacijo ter spletnim vmesnikom lahko različna. Uporabnik ima lahko na svoji napravi več podatkov, kot jih je na strežniku in obratno. Vse je odvisno od sinhronizacije mobilnih aplikacij s strežnikom in količine zbranih informacij na posamezni mobilni aplikaciji.

6.3 Opis strojne in programske opreme

Med razvojem aplikacije so bile uporabljene različne naprave z različnimi verzijami operacijskega sistema:

- Sony XperiaGO [61], Android 4.1.2 in Android Cyanogen mod 4.4.4
- Samsung Galaxy S2 [62], Android 4.1
- Motorola Moto G 4G [63], Android 4.4.4

Vse naprave so imele nameščene Google Play storitve, brez katerih aplikacija na mobilni platformi ne deluje. Naprave so imele nameščen operacijski sistem najmanj verzije 4.1, ki je tudi minimalna zahteva za delovanje aplikacije.

Sony XperiaGO je nekoliko starejši, manj zmogljiv mobilni telefon, z dvojedrnim 1,0 GHz procesorjem in 512 MB rama(delovnega pomnilnika) [64]. To je bila prvotna naprava za razvoj in testiranje. Večino aplikacije je bilo razvite za različico operacijskega sistema 4.1.2. Kasneje je bil telefonski aparat posodobljen na neuradno različico 4.4.4, ki jo je prispevala skupnost Cyanogen mod [65]. XperiaGO je omogočala dobro izhodiščno točko za razvoj aplikacije.

Samsung Galaxy S2 je bil druga, zmogljivejša naprava, ki uporablja dvojedrni 1,2 GHz procesor in ima na voljo 1 GB rama [66]. Različica operacijskega sistema je bila v času testiranja 4.1. Uporaba druge naprave je doprinesla izboljšave v smislu testiranja in popravljanja napak. Delovanje aplikacije je bilo opazno hitreje, predvsem pri izrisovanju zemljevidov.

Motorola Moto G 4G je nekoliko novejši, cenovno dostopen mobilni telefon z dobrimi strojnimi komponentami. Poganja ga štiri jedrni 1,2 GHz procesor, ki ima v uporabi na voljo 1 GB rama [67]. Naprava je bila uporabljena med razvojem nekaterih novih komponent, kot so dodano filtriranje podatkov in razširjen obseg zbiranja podatkov. Prvotne različice aplikacije so namreč zbirale samo odprte dostopne točke, kasneje pa tudi tiste, ki uporabljajo zaščito z enkripcijo [68].

Med načrtovanjem aplikacije je bilo jasno, da bomo potrebovali namenski strežnik. Želja je bila uporabiti dobro uveljavljene protokole. Odločili smo se za uporabo protokola HTTP, ker lahko služi za pošiljanje in prejemanje podatkov tako za aplikacijo, kot tudi za spletni vmesnik.

Strežniški del aplikacije smo med razvojem razdelili deli na dva dela:

- Razvojno okolje, za katerega je bil uporabljen osebni računalnik

- Končana različica strežniškega okolja, za katerega je bil uporabljen Raspberry PI 2 model B [69]

Razvojno okolje je bilo sestavljeno iz različnih sistemskih konfiguracij. Prvotni del razvoja je potekal na:

- osebнем računalniku s 4 GB delovnega pomnilnika, diskom zmogljivosti 500 GB ter dvojedrnim Intel procesorjem
- prenosnem računalniku z 12 GB delovnega pomnilnika ter SSD diskom zmogljivosti 250 GB [70] in dvojedrnim Intel procesorjem.

Na obeh sistemih je bil nameščen operacijski sistem Windows 7 [71]. V času razvoja smo uporabljali priročno programsko opremo XAMPP [72], ki med drugim vsebuje Apache in PHP strežnik ter MySQL podatkovno bazo.

Apache HTTP strežnik je bil zaradi svoje priljubljenosti logična izbira, saj je trenutno tudi po svetu najbolj razširjen HTTP strežnik. Leta 2009 so strežniki z nameščenim Apachem stregli že več kot 100 milijonov spletnih strani. Za njegov razvoj skrbi odprtokodna skupnost in je brezplačen za uporabo. Poleg tega ga je mogoče poganjati na vseh popularnih operacijskih sistemih [57]. Njegova razširjenost je omogočala razvoj tako na platformi Windows kot Linux.

PHP je skriptni jezik, ki se izvaja na strežniški strani. To pomeni, da lahko strežnik obdela prejete podatke in ustrezno odreagira nanje. Kot rezultat lahko vrne spletno stran, sliko ali kakšno drugo obliko podatkov. Razvoj PHP-ja sega v leto 1994. Januarja 2013 je bil uporabljen na več kot 240 milijonih spletnih strani in nameščen na 2,1 milijona spletnih strežnikov [58]. V naši aplikaciji služi za vmesnik med zahtevkom preko HTTP protokola in MySQL podatkovno bazo.

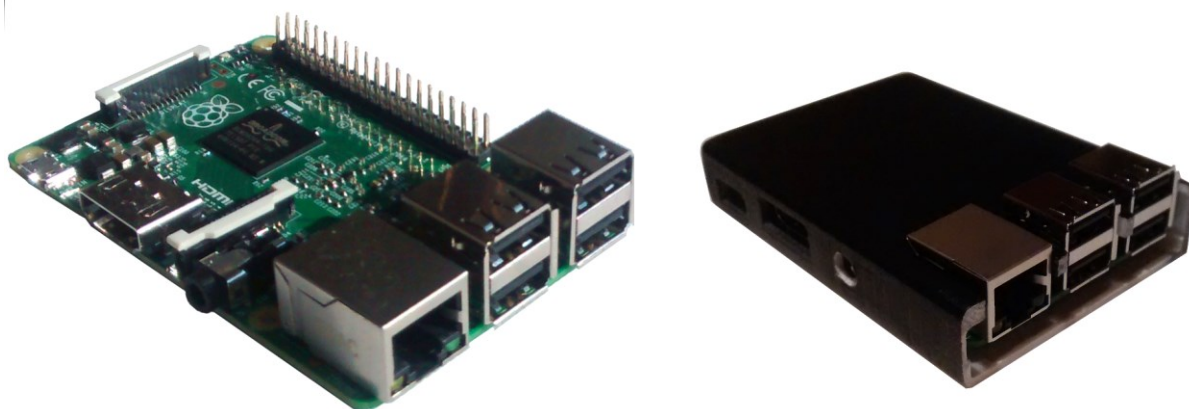
Za shranjevanje informacij o omrežjih smo se odločili za podatkovno bazo MySQL [59]. Razlog za izbiro te baze je bil enostavna uporaba, brezplačna licenca in nekaj predhodnih izkušenj.

Na tak način nastavljen strežnik (Apache HTTP, PHP, MySQL) omogoča shranjevanje informacij v podatkovno bazo ter branje iz nje. Hkrati omogoča tudi streženje spletne strani, ki jo uporabljamo kot spletni vmesnik za prikaz podatkov.

Pred realizacijo končanega strežniškega dela smo delovanje preizkusili še na operacijskem sistemu Linux Ubuntu [73]. Želeli smo namreč preveriti delovanje Apachea, PHP in MySQL

na ciljni platformi, preden smo se odločili za nabavo Raspberry Pi 2. Za testiranje smo uporabili distribucijo Ubuntu 14.04, ki se je izvajala na virtualki. Virtualka je emuliran računalniški sistem, ki nam omogoča hitro in enostavno konfiguracijo operacijskega sistema znotraj obstoječega operacijskega sistema [74]. Program, ki nam je omogočal konfiguracijo in namestitev testnega operacijskega sistema, se imenuje VirtualBox [75]. Pri testiranju smo ugotovili, da bo aplikacija delovala tudi na Linux operacijskih sistemih. Po rezultatih smo se odločili za nabavo nove različice Raspberry Pi 2 model B, ki je bil plasiran v februarju 2015.

Raspberry Pi 2 model B je postal končna različica strežnika za našo aplikacijo. Strojno je dovolj zmogljiv, da poganja Apache strežnik, s PHP-jem in MySQL podatkovno bazo. Na njemu teče operacijski sistem Raspbian [76]. Tehnične specifikacije zajemajo štiri jedrni ARM procesor pri 900 MHz, 1 GB delovnega pomnilnika ter pomnilniško kartico MicroSD [77] z zmogljivostjo 16 GB. Poleg nizke nabavne cene so tudi obratovalni stroški takšnega strežnika nizki, saj nima nobenih gibajočih delov (npr. klasični trdi disk ali ventilator za hlajenje), njegova poraba pa znaša okrog 4 W. Preračunan strošek nabave (Raspberry Pi 2, MicroSD kartica 16 GB ter adapter za napajanje) znaša okrog 50 evrov, poraba električne energije pa v enem letu nanese približno 30 kWh; po cenikih elektro distributerjevelektrične energije v marcu 2015 to nanese približno 2 evra. Fizični izgled strežnika je viden na sliki 21.



Slika 20: Raspberry Pi 2 B brez ohišja na levi strani slike in v ohišju na desni strani slike

Za izdelavo ohišja je bila uporabljena tehnika 3D tiskanja [78], načrt za izdelavo smo poiskali na spletni strani Thingiverse [79], kjer lahko poiščemo veliko različnih 3D-modelov za različne namene.

Programska orodja za razvoj aplikacije

Mobilna aplikacija

Večino mobilne aplikacije je bilo razvite v razvojnem okolju Eclipse Juno [80], različica 4.2.2, z nameščenim Android SDK Tools [81] in ustreznimi knjižnicami, ki bodo kasneje našteje in opisane. Aplikacija je bila razvita za operacijski sistem različice 4.1 in je bila testirana na prej naštetih mobilnih telefonih. Ugotovili smo, da je za uspešen razvoj aplikacije potrebno preveriti čim več konfiguracij, saj aplikacija v prvotni različici ni delovala na vseh tako, kot je bilo načrtovano. Več o tem v poglavju Testiranje in razvoj.

Strežnik

Za strežniški del aplikacije je bilo potrebno sprogramirati nekaj PHP kode, ki skrbi za razpoznavanje zahtevkov, za branje iz baze ter pisanje vanjo in vračanje pravih podatkov na podlagi zahtevkov. Izdelali smo spletno stran HTML s CSS [82] in JavaScriptom [83], ki služi prikazu zbranih informacij preko različnih spletnih brskalnikov. Nastaviti smo morali MySQL podatkovno bazo in ustvariti tabele, v katere se bodo podatki shranjevali in brali.

Za večino spisane kode smo uporabili Notepad++ [84], saj je bil razvoj dovolj kratek, da nismo potrebovali naprednejših orodji

Poglavje 7 Testiranje in razvoj

Delovanje aplikacije je bilo testirano s tremi različnimi napravami, ki so bile naštet v prejšnjem poglavju. Sony XPERIA GO z nameščenim operacijskim sistemom 4.1.2 in 4.4.4 je aplikacijo poganjala, vendar ne najbolj tekoče. Problem pri hitrosti predstavlja izris map na zaslon, kar vzame precej procesorskega časa. Kljub temu je aplikacija na tem aparatu delovala pravilno.

7.1 Pridobivanje lokacije

Aplikacija v prvem koraku najprej poišče svojo lokacijo. To stori s pomočjo metode, ki uporablja razred LocationManager. Ko je lokacija naprave znana, vemo, kam lahko lokacijsko umestimo brezžična omrežja, ki jih med delovanjem aplikacije poiščemo.

Prvotna metoda za pridobivanje lokacije iz razreda LocationManager deluje v treh načinih.

Iz razreda LocationManager lahko pridobimo lokacijo na tri različne načine. Najbolj zaželena je lokacija, ki daje največjo natančnost, zato v prvem koraku poskuša metoda dobiti podatke kar od GPS modula.

Če je pri tem neuspešna, nadaljuje na naslednji korak in poskuša pridobiti lokacijo s pomočjo mobilnega omrežja mobilnih operaterjev. Ta korak ne vrne natančne lokacije, vendar je vseeno do neke mere uporaben. Drugo vprašanje, ki se lahko pri tem koraku pojavi, je, ali naš operater mobilnega omrežja sploh omogoča to storitev. Če je ne omogoča, nam mobilna naprava ne more vrniti lokacije iz tega vira.

Če je tudi pri prejšnjem koraku lokacija neznana, jo aplikacija poskuša pridobiti na pasiven način. Pasiven način pridobivanja lokacije pomeni, da aplikacija poskuša pridobiti podatke o lokacije od drugih aplikacij, ki se izvajajo na napravi.

Lokacija naprave se med delovanjem aplikacije spreminja, zato se metoda izvaja periodično in skrbi za pravilno informacijo o trenutni lokaciji.

Metoda je realizirana s programsko kodo prikazano na naslednji strani.

```

private void _getLocation() {
    // Get the location manager to determine current location
    LocationManager locationManager = (LocationManager)
        getSystemService(LOCATION_SERVICE);
    Criteria criteria = new Criteria();
    String bestProvider = locationManager.getBestProvider(criteria,
false);
    Location location =
locationManager.getLastKnownLocation(bestProvider);
    try { //try to get location from GPS module
        lat1 = location.getLatitude();
        lon1 = location.getLongitude();
        myCurrentLocation=new LatLng(lat1, lon1);
        Log.d("LOCATION:", lat1 + " " + lon1);
    } catch (NullPointerException e) {
        lat1 = -1.0;
        lon1 = -1.0;
        Log.d("NO LOCATION", "NONE from GPS");
        //try with network if GPS is not available
        criteria=new Criteria();
        bestProvider=LocationManager.NETWORK_PROVIDER;
        location=locationManager.getLastKnownLocation(bestProvider);
        try {
            lat1 = location.getLatitude();
            lon1 = location.getLongitude();
            myCurrentLocation=new LatLng(lat1, lon1);
            Log.d("LOCATION via network:", lat1 + " " + lon1);
        } catch (NullPointerException e1) {
            lat1 = -1.0;
            lon1 = -1.0;
            Log.d("NO LOCATION", "NONE from NETWORK");
            //try with passive, to get at least some idea of where
you are

            criteria=new Criteria();
            bestProvider=LocationManager.PASSIVE_PROVIDER;

            location=locationManager.getLastKnownLocation(bestProvider);
            try {
                lat1 = location.getLatitude();
                lon1 = location.getLongitude();
                myCurrentLocation=new LatLng(lat1, lon1);
                Log.d("LOCATION via PASSIVE:", lat1 + " " + lon1);
            } catch (NullPointerException e2) {
                lat1 = -1.0;
                lon1 = -1.0;
                Log.d("NO LOCATION", "NONE from PASSIVE! Location
Unknown");
            }
        }
    }
}

```

Po zamenjavi aparata za Samsung Galaxy S2, so se pojavile težave pri pridobivanju lokacije. Med testiranjem se je izkazalo, da prvotna različica aplikacije ni delovala, za kar je bilo potrebno spisati nekaj nove kode in ponovno testirati. Problem je bil v metodi, ki je dostopala do storitev, ki so bile v tej različici operacijskega sistema drugače realizirane.

Med preizkušanjem delovanja je bil najbolj problematičen del zaznati napako, saj je sprva izgledalo, kot da vse deluje. Metoda za določanje lokacije se je izvedla brez napak, vendar je kot rezultat vračala vrednost »null«. Natančnejša analiza je pokazala, da se vsi novo pridobljeni podatki o omrežjih nahajajo na isti (privzeti) lokaciji, saj se med izvajanjem aplikacije ni nikoli spremenila. Med iskanjem rešitve po internetu smo ugotovili, da nekatere naprave ne delujejo z obstoječo metodo in da je potrebno uporabiti druge načine za pridobivanje lokacije. Posodobljena verzija je poleg obstoječe metode dobila še dodaten blok kode za pridobivanje lokacije.

```
if(location == null)
{
    if(servicesConnected()){
        //use other method, with LocationClient class
        if(mLocationClient != null)
        {
            Location mCurrentLocation = mLocationClient.getLastLocation();
            myCurrentLocation=new LatLng(mCurrentLocation.getLatitude(),
mCurrentLocation.getLongitude());
            Log.d("LOCATION via Fused Location","Location
found:"+myCurrentLocation.toString());
        }
    }
}
```

Po dodani kodi, je delovanje in iskanje lokacije delovalo pravilno. S pomočjo LocationClient razreda in ustreznih metod, ki jih vključuje, je tudi Samsung Galaxy S2 pridobil informacije o svoji lokaciji.

Testiranje na napravi Motorola Moto G ni prineslo nobenih razlik v primerjavi s prvima aparatoma, razen boljše uporabniške izkušnje na račun močnejše strojne opreme.

7.2 Pridobivanje informacij o Wi-Fi omrežjih

Poleg lokacije naprave mora aplikacija dobiti tudi informacije o stanju brezžičnih omrežij. Aplikacija uporablja sledeč algoritem za pridobivanje informacij o Wi-Fi omrežjih.

1. Ob zagonu aplikacije se inicializira Wi-FiManager. Wi-FiManager skrbi za dostop aplikacije do sistemskih storitev Wi-Fi.

2. Pripravi se poslušalec (BroadcastReceiver [85]), ki sprejema podatke o brezžičnih omrežjih. Znotraj poslušalca je spisana koda, ki gre čez seznam omrežij, ki mu jih vrne Wi-FiManager. Če se v seznamu nahaja omrežje, ga doda v pomnilnik. Shrani si njegov BSSID, SSID, frekvenco, vrsto zaščite ter lokacijo. Lokacijo aplikacija že predhodno določi s prej omenjenimi metodami.
3. Po preverjanju, ali je na tej lokaciji omrežje že označeno, ga po potrebi doda v pomnilnik.
4. Novi podatki so shranjeni v delovnem pomnilniku. Ker je postopek pisanja v lokalno podatkovno bazo počasen, se to zgodi med prehodom aplikacije v ozadje.
5. Glede na lokacijo omrežja se uporabi tudi Googlov Geocoder [86], ki vrne imenski naslov iz podane lokacije GPS. Med drugim kot rezultat vrne ime države in mesta, kjer se koordinate nahajajo. Tudi ta informacija se hrani za vsako omrežje. Ko je na voljo tudi podatek o ulici, se tudi ta shrani v bazo.

7.3 Prikazovanje informacij o omrežjih na zemljevidu

Aplikacija omogoča prikazovanje omrežij na zemljevidu Google Maps. Za upodobitev točk na zemljevidu je aplikacija na začetku uporabljala metodo, ki je za vsako omrežje izdelala lastno sličico in jo prikazala na zemljevidu kot GroundOverlayOptions (oznaka na zemljevidu). Sličica je bila sestavljena iz zbranih točk, ki pripadajo istemu omrežju. Sproti se je za vsako sličico namešala naključna barva, kar je omogočalo razločevanje omrežij med seboj.

Na žalost se je metoda izkazala za preveč potratno. V nadaljevanju razvoja smo jo nadomestili z uporabo Google Maps Android Heatmap Utility [87].

Ob zagonu aplikacije se iz lokalne baze preberejo shranjeni podatki o omrežjih. Naložijo se v delovni pomnilnik.

Ko so podatki v pomnilniku, se izrišejo na zemljevid. Ob vsakem premiku pogleda ali spremembi povečave se na zemljevid ponovno izrišejo vidna omrežja. Aplikacija za boljše delovanje ne izrisuje vseh podrobnosti, ampak ob prehodu na določeno povečavo poskrbi, da prikazuje le del podatkov, ki se nahajajo v pomnilniku.

Postopek smo si izposodili iz optimizacije pri računalniških igrah. V 3D igrah je postopek poznan pod izrazom Mipmap [88]. Teksture, ki jih igre izrisujejo, so sestavljene iz več

različnih resolucij, kjer vsaka prikazuje določeno stopnjo podrobnosti. Osnovna ideja je prikazati manj podrobnosti, ko so teksture daleč in več, ko so blizu.

Aplikacija ima tri stopnje prikaza:

1. Visoka povečava prikazuje vse točke omrežja, ki je vidno na izrisanem delu. To pomeni izris do 30 oznak za vsako omrežje.
2. Srednja povečava prikazuje po eno točko iz vsakega od omrežij, ki so vidna na izrisanem delu.
3. Nizka povečava prikazuje po eno točko za skupino omrežij, ki se nahajajo v bližini drug drugega.

Na ta način smo se želeli izogniti problemom, ki bi se lahko pojavili pri velikem številu točk na istem zemljevidu.

7.4 Sinhronizacija podatkov

Sinhronizacija podatkov med odjemalci – mobilnimi napravami in centralnim strežnikom je predstavljala tudi svojevrsten izziv. Po tehtnem premisleku smo se odločili za uporabo tehnologij, ki smo jih uporabljali tudi pri nekaterih drugih projektih.

Za lokalno shranjevanje podatkov v prvi stopnji aplikacija uporablja delovni pomnilnik, ker je najhitrejši. Novi podatki, ki se sproti zbirajo, se torej zapišejo v seznam, ki hrani aktualne informacije in jih tudi prikazuje na zemljevidu.

Na drugi stopnji se podatki shranjujejo in berejo v podatkovno bazo na napravi. Na prej določeno periodo in ob določenih dogodkih, recimo ko gre aplikacija v ozadje, se novi podatki shranijo v podatkovno bazo SQLite [89], ki je vgrajena v Android operacijski sistem. Dostop do te baze je relativno počasen, zato se pogostemu dostopu med izvajanjem aplikacije raje izognemo.

Ko se aplikacija (ponovno) zažene oz. se vrne v ospredje, se podatki preberejo iz baze v delovni pomnilnik.

Pri sinhronizaciji podatkov z oddaljenim strežnikom komunikacija poteka preko HTTP protokola, kar zahteva vzpostavitev seje in komunikacijo s HTTP strežnikom. Ob uspešni povezavi se podatki pošljejo v JSON [90](JavaScript Object Notation) formatu.

Podatki se shranijo na oddaljenem strežniku.

Pridobivanje podatkov poteka v obratnem vrstnem redu. Ob vzpostavljeni podatkovni povezavi se ob zagonu aplikacije preveri, ali je na strežniku kaj novih informacij. Če nove informacije so, jih aplikacija pridobi s strežnika. Novi podatki, ki se v JSON formatu preko HTTP protokola prenesejo v aplikacijo, se shranijo v delovni pomnilnik.

Vsa sinhronizacija med uporabniško aplikacijo in strežnikom poteka izključno ob vzpostavljeni podatkovni povezavi.

7.5 Strežniški del s spletnim vmesnikom

Spletni strežnik čaka za zahteve preko HTTP protokola. Ko prejme zahtevek, lahko odreagira na tri načine

- Prejme podatke in jih vpiše v bazo
- Prejme zahtevek za pridobivanje podatkov in odgovori s podatki
- Prejme zahtevek za prikaz spletnega vmesnika in vrne HTML stran

Prva dva načina prevzame PHP skripta, ki poskrbi za pisanje v MySQL bazo ali branje iz nje. Na strežniku se nahajata dve PHP skripti, ena je namenjena vnašanju podatkov v bazo, druga pa vračanju podatkov glede na iskalne parametre oz. filtre.

Pri vnašanju podatkov se najprej izvede preverjanje podatkov. Pravilni vnosi se naložijo v začasno tabelo v pomnilniku. Ko je prebrana celotna vsebina sporočila, se izvede več ustreznih INSERT (vstavi, dodaj) stavkov, ki v bazo vpišejo nove vrednosti.

Pri zahtevku za branje, PHP skripta izvede SELECT (izberi) stavke nad podatkovno bazo. Rezultate zapakira v JSON objekt in ga pošlje kot odgovor. Pri zahtevku upošteva tudi parametre, ki jih uporabi za filtriranje rezultatov. Uporabnost tega načina se pokaže pri spletnem vmesniku.

Spletni vmesnik je rezultat na tretji tip zahtevka. Strežnik servira spletno stran, ki vsebuje zemljevid Google Maps in enostaven obrazec za določanje filtrov. S potrditvijo obrazca se sproži zahtevek za branje iz baze (druga PHP skripta). Glede na nastavljene filtre nam strežnik vrne omrežja, ki so trenutno v bazi in ustrezajo iskalnim kriterijem. Omrežja so nato predstavljena na zemljevidu.

Podatki za aplikacijo so shranjeni v podatkovni bazi MySQL. Hranijo se v dveh tabelah. Prva je namenjena hrambi omrežij.

Polje	Tip	Null	Ključ	Privzeta vrednost	Podrobnosti o podatkih
bssid	varchar(17)	NO	PRI	NULL	Bssid je enolična oznaka dostopne točke
ssid	varchar(32)	NO		NULL	Ime, ki ga dostopna točka oddaja
cityname	varchar(200)	NO		NULL	Mesto, država kjer se omrežje nahaja
approxgps	varchar(21)	NO		NULL	Lokacija omrežja
frequency	int(11)	NO		NULL	Oddajna frekvenca (kanal)
wwwreachable	int(1)	NO		NULL	Stanje dostopnosti do interneta

Tabela 8: Struktura tabele, ki vsebuje podatke o omrežjih v MySQL podatkovni bazi

Bssid je uporabljen kot enolični identifikator omrežja. Izbrali smo ga, ker ga skoraj vsaka dostopna točka oddaja in je določen na fizičnem nivoju. Redko kateri upravljaliec dostopne točke ga spremeni, zato predpostavljamo, da so vsi unikatni. Dostopne točke, ki ne oddajajo svojega oddajnega (broadcast) signala [91] se ne pojavljajo na seznamu skeniranih omrežij v aplikaciji. Informacije o tako nastavljenih dostopnih točkah se ne zbirajo.

Ssid je ime, ki ga upravljaliec dostopne točke določi sam. Uporaben je pri iskanju omrežja, ki bi ga rad uporabnik prikazal s pomočjo filtrov.

Polje **cityname** vsebuje podatke, kje se omrežje nahaja. Običajno so tu shranjene informacije o državi in mestu, kjer se omrežje nahaja. Uporabno je pri iskanju omrežja glede na lokacijo.

Approxgps vsebuje GPS koordinate, na katerih je bilo omrežje najprej odkrito. Podatek je uporaben pri izrisovanju manj natančnega prikaza omrežij v aplikaciji.

Frequency vsebuje oddajno frekvenco omrežja. Trenutno ni v praktični uporabi, bi pa lahko služilo za potencialne razširitve aplikacije.

Polje **wwwreachable** je bilo namenjeno uporabi za označevanje aktivne internetne povezave. Razširitev aplikacije bi lahko testirala povezavo z odprtim omrežjem tako, da bi skušala

dostopati do interneta. Če bi bila ta povezava uspešna, bi se v tabelo vpisala vrednost, ki bi kazala na to, da ima dostopna točka aktivno povezavo z internetom. V realnem svetu namreč povezava z brezžičnim omrežjem še ne garantira dostopa do interneta.

Druga tabela v MySQL podatkovni bazi je namenjena hrambi točk, ki predstavljajo posamezno omrežje. Uporablja se za natančnejšo upodobitev omrežja na zemljevidu. Sestavljena je iz polj, ki opisujejo lokacijsko odvisne podatke.

Polje	Tip	Null	Ključ	Privzeta vrednost	Podrobnosti o podatkih
pbssid	varchar(17)	NO	PRI	NULL	Bssid je enolična oznaka dostopne točke
gpscoordinates	varchar(21)	NO		NULL	GPS koordinate za oznako
strength	double	NO		NULL	Izmerjena moč signala
accuracy	double	NO		NULL	Izmerjena natančnost GPS
quality	double	NO		NULL	Kvaliteta oznake
timestamp	varchar(20)	NO	PRI	NULL	Časovna oznaka točke

Tabela 9: Struktura tabele, ki vsebuje podatke o točkah posameznega omrežja v MySQL podatkovni bazi

Polje **pbssid** je enolična oznaka omrežja in se uporablja za združevanje tabele omrežij (prve tabele) s pripadajočimi točkami (druga tabela). Je del primarnega ključa.

Gpscoordinates je polje, ki vsebuje GPS koordinate za določeno meritev (oznako). Uporabna je za izdelavo natančnejšega zemljevida omrežja, ki se lahko prikaže v aplikaciji pri visoki povečavi.

Strength vsebuje informacijo izmerjene moči signala na koordinatah, kjer je bila meritev opravljena.

Accuracy vsebuje informacije o izmerjeni natančnosti GPS lokacije, ko je bila meritev opravljena.

Quality predstavlja količnik med strength in accuracy. Uporaben bi bil pri razširitvi aplikacije, kjer bi lahko klasificirali meritve glede na izmerjene količine. Višja kot je

vrednost, boljšo informacijo doprinaša k ustvarjanju slike od omrežja. Boljši kot je signal in boljša kot je natančnost GPS, bolj je točka vidna na zemljevidu. V trenutnem načinu delovanja je quality polje uporabljeno za razločevanje med meritvami, ki boljše ali slabše predstavljajo kakovost signala na določeni lokaciji. Slabše ovrednotene so meritve z bodisi nižjo izmerjeno močjo signala in/ali nižjo natančnostjo GPS lokacije. Ko se pojavi dovoljše število meritev, se slabe zamenjajo z boljšimi. Na dolgi rok to pomeni natančnejšo izdelavo omrežja v območju kjer je njegovo delovanje zanesljivejše. Zaščitni mehanizem aplikacije skrbi, da se na isto GPS lokacijo ne shranjuje več vrednosti za isto omrežje. Ne more se zgoditi, da bi podatki konvergirali na eno točko.

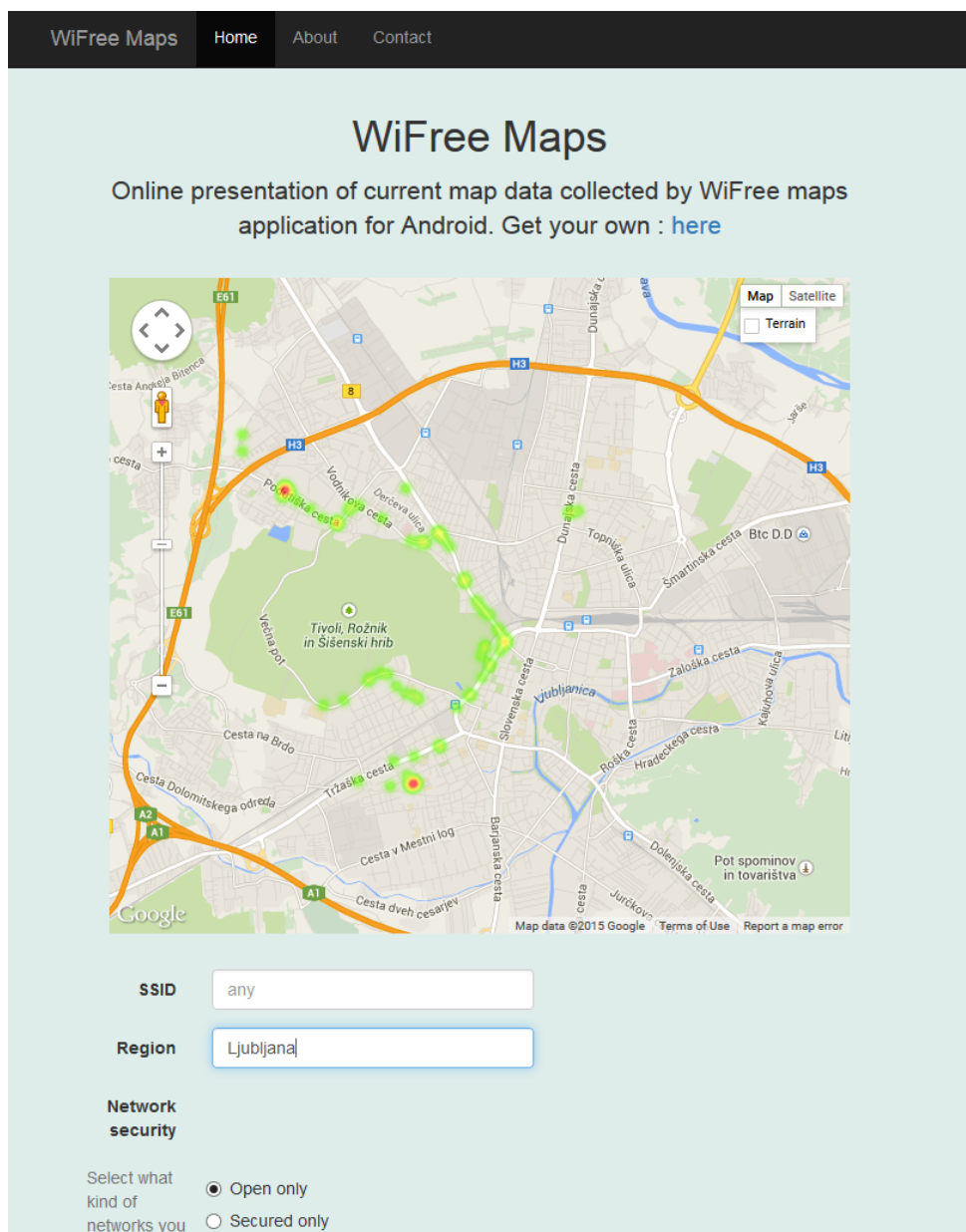
Timestamp je časovna oznaka, ki označuje čas, ko je bila točka posneta. Uporablja se za razločevanje novejših podatkov.

Za uporabo dveh tabel smo se odločili, ker smo predvidevali, da je to bolje s stališča hitrosti in prostora za hranjenje. Na ta način se znebimo podvajanja informacij o imenu omrežja (ssid), naslovu, frekvenci in podatku, ali je na omrežju aktivna internetna povezava (wwwreachable). Tabeli sta medsebojno povezani s ključema bssid in pbssid.

7.6 Zgradba spletnega vmesnika

Spletni vmesnik je bil spisan v HTML [92] jeziku, z uporabo JavaScripta [83], CSS [82] ter prosto dostopnih knjižnic jQuery [93] in Bootstrap [94]. CSS je namenjen oblikovanju spletne strani in skrbi za lepši izgled. Knjižnica jQuery omogoča hitro in enostavno manipulacijo vsebine na HTML straneh. Skrbi tudi za pošiljanje zahtevkov z uporabo obrazca in prejemanje podatkov. Bootstrap je zunanja knjižnica, ki omogoča hiter razvoj spletnih strani z odzivnim oblikovanjem [95]. To pomeni, da je uporabniški vmesnik lepši, boljši in pravilno prikazan na več različnih resolucijah. Poleg tega Bootstrap zagotavlja dobro delovanje tudi na mobilnih spletnih brskalnikih.

Raba takšnih orodji omogoča višji nivo izdelave spletnih vmesnikov. Za primer smo izbrali prikaz rezultatov za mesto Ljubljana, za vsa odprta omrežja. Slika 21 prikazuje omrežja glede na uporabljene filtre.



Slika 21: Primer uporabe spletnega vmesnika z uporabo filtrov in prikaz omrežij na zemljevidu

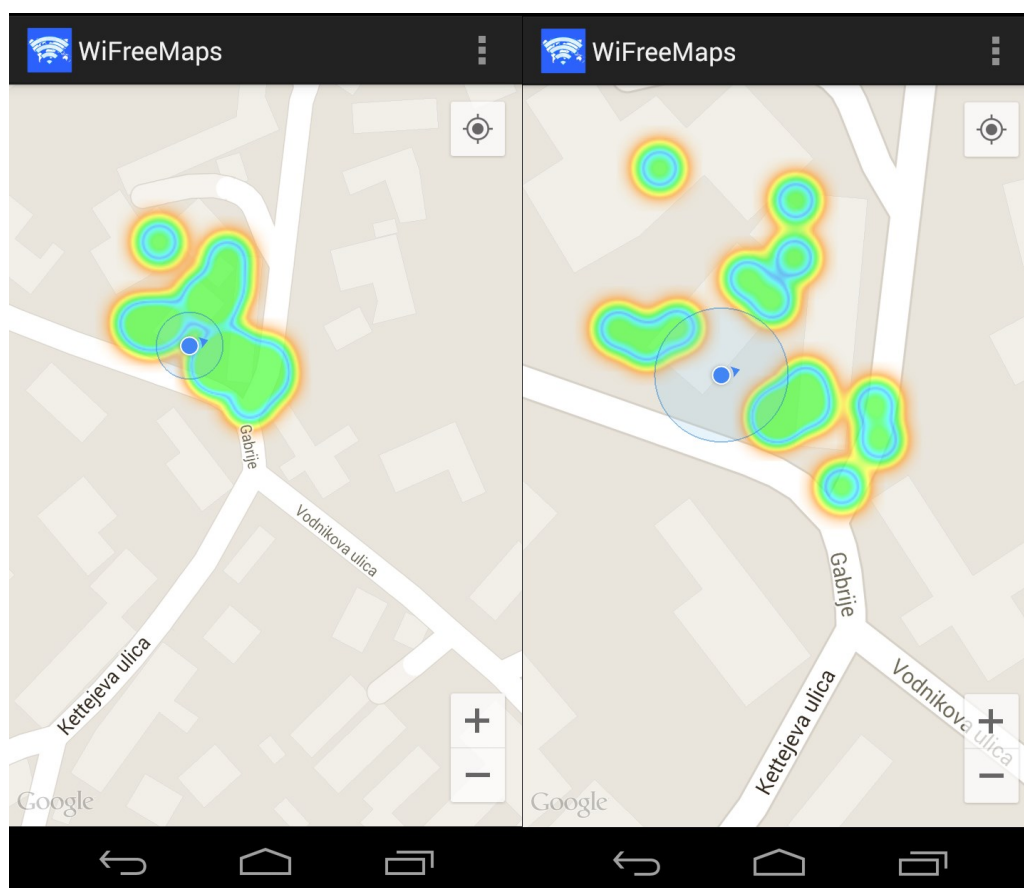
Spletni vmesnik je bil preizkušen v različnih brskalnikih, med katere spadajo Chrome [96], Opera [97], Mozilla Firefox [98], Internet Explorer 11 [99] ter mobilni brskalniki Chrome [100], Firefox [101] in Opera [102].

Uporaba naprednih tehnologij nam je omogočila razvoj spletnega vmesnika, ki deluje dobro na veliki večini naprav v več različnih spletnih brskalnikih.

Poglavje 8 Zaključek

Med razvojem aplikacije smo testirali in sproti pridobivali podatke iz naše okolice. Podatki, ki so prikazani na slikah so rezultat občasne uporabe aplikacije na različnih delih po Sloveniji. Večino zbranih rezultatov je realni odraz dejanskega stanja, se je pa včasih zaradi napačne informacije o lokaciji kakšna oznaka znašla na napačnem mestu. Po pregledu med testiranjem se je nekatere napake odstranilo, vendar na tem delu obstaja nekaj prostora za možne izboljšave.

Za dokaz, da je aplikacija sposobna prikazati omrežje z višjo natančnostjo smo si vzeli čas in eno takšnih omrežij dobro označili. Slika 22 prikazuje rezultat pet minutnega delovanja aplikacije v okolici Wi-Fi omrežja.



Slika 22: Rezultat po pet minutnem skeniranju. Levi in desni del slike pripada upodobitev istega omrežja na različni povečavi. Desna povečava je večja.

Poglavje 9 Razširitve in načrti za prihodnost

Možne razširitve aplikacije v prihodnosti bi lahko vključevale nekatere od naštetih novosti.

Razločevanje omrežij s pomočjo različno obarvanih oznak. Trenutna uporaba prikaza omogoča določanje barv, vendar je spekter barv enak za vse oznake. Dobro bi bilo preizkusiti delovanje mobilne aplikacije z uporabo obstoječih oznak tako, da bi vsako omrežje predstavili z lastno barvo. V pri stopnji bi bilo potrebno preveriti ali ta način Google Maps API podpira, v drugi pa preveriti potencialne težave s hitrostjo delovanja, ki bi se lahko pojavile ob prikazu večjega števila omrežij. Predvidevamo, da bi bilo z uporabo tega načina prikaza izrisovanje zemljevidov počasno, uporabniška izkušnja pa na ta račun slaba.

Izdelava lastnih natančnih oznak. V prvotnem planu je bila predvidena uporaba lastnih oznak, ki bi omogočale večjo stopnjo prilagodljivosti. Nekaj eksperimentiranja v tej smeri je vračalo zanimive rezultate, vendar je problematika sestavljena iz več stopenj, ki bi potrebovale določeno optimizacijo.

Prvotni algoritem je deloval tako, da je za vsako omrežje določil središče vsakega Wi-Fi omrežja glede na zbrane informacije. Središče je predstavljalo središče bitne mape, na katero se je izrisalo omrežje. Posamezne meritve (točke) je algoritem postavil na ustrezno koordinato na tej bitni mapi. Vsaka meritev (točka) je bila predstavljena kot krog s središčem na GPS koordinatah, prevedenih na koordinate bitne mape. Radij kroga je bil določen z natančnostjo GPS meritve. Če je bila natančnost nizka, je imel krog velik polmer in obratno.

Krog je bil pobarvan s prosojno barvo. Stopnja prosojnosti je bila sestavljena iz dveh faktorjev: natančnosti lokacije in moči Wi-Fi signala, kjer je bila meritev izvedena.

Natančnost lokacije je predstavljala obseg površine na katero je algoritem nanese barvo, moč Wi-Fi signala pa količino barve, ki jo je nanese na to površino.

Tako je bila točka z visoko natančnostjo GPS meritve (recimo 3 metre) in dobrim signalom prikazana kot jasno viden krog z visoko intenziteto barve (manj prosojna). Točka z nižjo natančnostjo GPS meritve (15 metrov) in slabim Wi-Fi signalom je bila slabše vidna, ker se je ustrezno nižja intenziteta barve razporedila na večje območje.

Za testiranje te metode smo uporabili generirane podatke in rezultati so bili zanimivi. Problem se je pojavil pri večjem številu podatkov, ko je bilo potrebno za vsako omrežje vedno znova sestaviti bitno mapo in jo prilepiti na zemljevid. Izris je bil počasen, zato smo se odločili za uporabo drugega pristopa, ki deloma opravlja zastavljeno nalogo. Pri uporabi oznak v obstoječi obliki namreč ni mogoče določati velikosti ali prosojnosti posamezne točke.

Prikaz informacij o omrežjih ob dotiku na prikazano omrežje. Uporabno bi bilo predvsem pri hitrem pregledovanju prikazanih informacij. V trenutnem načinu delovanja aplikacije namreč le ta ne omogoča prikaza imena posameznega omrežja poleg oznak. Lahko pa prikaže omrežje, če vemo kakšen je njegova ssid oznaka.

Statistična analiza podatkov o omrežjih, ki so bili zbrani skozi delovanje aplikacije. S temi analizami bi lahko izdelali več modelov Wi-Fi omrežij, od tega da bi prikazali razvoj skozi čas, do tega kako se omrežja širijo, kako pogosto se pojavljajo nova in podobno. Pri takšnih analizah predpostavljamo, da smo za prvotno stanje poskrbeli in z uporabo aplikacije zbrali dovolj začetnih podatkov. Analiza bi potekala na osnovi razlik med začetnimi podatki in podatki, ki bi se zbrali za njimi.

Varnost in zasebnost Wi-Fi omrežij. Zbrane podatke bi lahko uporabili za raziskovanje varnostne osveščenosti lastnikov brezžičnih omrežij. Za vsako omrežje v bazi se namreč nahaja tudi podatek o tem, kakšno enkripcijo uporablja za zaščito in dostop. Lahko bi primerjali števila med zaščitnimi in nezaščitnimi omrežji, ki bi bila zbrana v bazi. Z nekaj dodatnega programiranja na strežniku bi lahko označevali tudi omrežja, ki so iz prehajala med različnimi načini enkripcije, označevali čas, kdaj se je to zgodilo in podobno.

Analiza onesnaženosti z Wi-Fi omrežji. Že sama predstavitev Wi-Fi omrežij na zemljevidu nam daje neko sliko, kako »onesnaženo« je neko okolje z Wi-Fi signalom. S pomočjo podatkov za kvaliteto signala, ki v bistvu predstavlja razmerje med signalom in šumom ter predvideno oddajno močjo anten, bi lahko izdelali zemljevid ali poročilo o sevanju omrežij.

Selitev strežniškega dela med oblačne storitve. V primeru razširjene uporabe aplikacije bi bilo potrebno zagotavljati nemoteno delovanje sinhronizacije podatkov. Trenutna konfiguracija je bila namreč testirana z majhnim številom klientov, ki ne predstavljajo realnega stanja obremenjenosti. Predvidevali smo, da s skromno strojno opremo in omejeno hitrostjo prenosa podatkov ta številka ni pretirano visoka. Po osnovnem testiranju zmogljivosti vračanja seznama točk, smo s programom Apache JMeter [103] naleteli na težave že pri 10 zahtevkih na sekundo. Temeljitejšega testiranja s sočasnim vpisovanjem v bazo, branjem iz nje in vračanjem spletnega vmesnika nismo izvedli.

Literatura in viri

- [1] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation. [Poskus dostopa 9 3 2015].
- [2] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Radio>. [Poskus dostopa 25 2 2015].
- [3] A. P. L. Chandra Prakash, „Mobile & Ad Hoc Network,“ [Elektronski]. Available: <http://www.slideshare.net/cprakash2011/lecture-1-mobile-and-adhoc-network-introduction>. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [4] „What when how,“ [Elektronski]. Available: <http://what-when-how.com/remote-sensing-from-air-and-space/electromagnetic-radiation-emr-matter-interactions-remote-sensing/>. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [5] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz_equation. [Poskus dostopa 25 2 2015].
- [6] „Jasmcole,“ [Elektronski]. Available: <http://jasmcole.com/2014/08/25/helmhurts/>. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [7] „kioskea.net,“ [Elektronski]. Available: <http://en.kioskea.net/contents/832-propagation-of-radio-waves-802-11>. [Poskus dostopa 25 2 2015].
- [8] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/ISM_band. [Poskus dostopa 1 2 2015].
- [9] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Frequency_allocation. [Poskus dostopa 10 3 2015].

-
- [10] „wikimedia,“ [Elektronski]. Available: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/United_States_Frequency_Allocations_Chart_2011_-_The_Radio_Spectrum.pdf. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [11] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_interference_at_2.4_GHz. [Poskus dostopa 31 1 2015].
- [12] T. E. o. T. E. Britannica, „The Encyclopædia Britannica,“ 9 4 2014. [Elektronski]. Available: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/1473553/Wi-Fi>. [Poskus dostopa 18 9 2014].
- [13] W.-F. Alliance, „wi-fi.org,“ 24 12 2014. [Elektronski]. Available: <http://www.wi-fi.org/who-we-are>. [Poskus dostopa 24 12 2014].
- [14] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_Alliance. [Poskus dostopa 3 2 2015].
- [15] IEEE-SA, „IEEE-SA,“ 2014. [Elektronski]. Available: http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/802.11_Timelines.htm. [Poskus dostopa 18 9 2014].
- [16] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/DBm>. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [17] [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Long-range_Wi-Fi. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [18] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise_ratio. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [19] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_WLAN_channels. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [20] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Signal_processing. [Poskus dostopa 2 3 2015].

-
- [21] "Forward error correction," [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Forward_error_correction. [Accessed 26 1 2015].
- [22] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11_\(legacy_mode\)](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11_(legacy_mode)). [Poskus dostopa 2 2 2015].
- [23] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [24] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11a-1999. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [25] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying#Binary_phase-shift_keying_.28BPSK.29. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [26] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying#Quadrature_phase-shift_keying_.28QPSK.29. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [27] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [28] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11a-1999. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [29] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Complementary_code_keying. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [30] [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Carrier_sense_multiple_access_with_collision_avoidance. [Poskus dostopa 26 1 2015].

- [31] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [32] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [33] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_frame. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [34] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11g-2003. [Poskus dostopa 26 1 2015].
- [35] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Spatial_multiplexing. [Poskus dostopa 28 1 2015].
- [36] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [37] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Beamforming>. [Poskus dostopa 28 1 2015].
- [38] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Frame_aggregation. [Poskus dostopa 28 1 2015].
- [39] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n-2009. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [40] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ac. [Poskus dostopa 5 2 2015].
- [41] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Multi-user_MIMO. [Poskus dostopa 6 2 2015].
- [42] „wikimedia,“ [Elektronski]. Available: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wi-Fi_Logo.svg. [Poskus dostopa 5 3 2015].

- [43] N. R. C. (. C. o. t. F. o. t. G. P. System in N. A. o. P. A. (1995), „Recommendations for technical improvements and enhancements,“ v *The Global Positioning System: A Shared National Asset*, National Academies Press, 1995, p. 16.
- [44] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Medium_Earth_orbit. [Poskus dostopa 9 2 2015].
- [45] [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Trilateration>. [Poskus dostopa 9 2 2015].
- [46] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://de.wikipedia.org/wiki/Lateration>. [Poskus dostopa 12 3 2015].
- [47] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS>. [Poskus dostopa 11 2 2015].
- [48] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_\(satellite_navigation\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_(satellite_navigation)). [Poskus dostopa 11 2 2015].
- [49] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System. [Poskus dostopa 9 3 2015].
- [50] „gps.gov,“ [Elektronski]. Available: <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>. [Poskus dostopa 10 2 2015].
- [51] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/EGM96>. [Poskus dostopa 11 2 2015].
- [52] „garmin.com,“ [Elektronski]. Available: <http://www8.garmin.com/aboutGPS/>. [Poskus dostopa 10 2 2015].
- [53] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Android_%28operating_system%29. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [54] „penbaypilot,“ [Elektronski]. Available: <http://www.penbaypilot.com/article/all-ages-aboard-rsu-3/4959>. [Poskus dostopa 21 3 2015].

- [55] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Google_Maps. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [56] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Hypertext_Transfer_Protocol. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [57] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Apache_HTTP_Server. [Poskus dostopa 22 2 2015].
- [58] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/PHP>. [Poskus dostopa 23 2 2015].
- [59] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/MySQL>. [Poskus dostopa 23 2 2015].
- [60] „Google developers,“ [Elektronski]. Available: <https://developers.google.com/maps/faq#usagelimits>. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [61] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Sony_Xperia_Go. [Poskus dostopa 22 2 2015].
- [62] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Samsung_Galaxy_S_II. [Poskus dostopa 22 2 2015].
- [63] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Moto_G. [Poskus dostopa 22 2 2015].
- [64] „gsmarena,“ [Elektronski]. Available: http://www.gsmarena.com/sony_xperia_go-4782.php. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [65] „cyanogenmod,“ [Elektronski]. Available: <http://www.cyanogenmod.org>. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [66] „gsmarena,“ [Elektronski]. Available: http://www.gsmarena.com/samsung_i9100_galaxy_s_ii-3621.php. [Poskus dostopa 10 3 2015].

-
- [67] „gsmarena,“ [Elektronski]. Available: http://www.gsmarena.com/motorola_moto_g_4g-6355.php. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [68] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_security. [Poskus dostopa 12 3 2015].
- [69] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi. [Poskus dostopa 22 2 2015].
- [70] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state_drive. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [71] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Windows_7. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [72] „apachefriends.org,“ [Elektronski]. Available: <https://www.apachefriends.org/index.html>. [Poskus dostopa 22 2 2015].
- [73] „Ubuntu,“ [Elektronski]. Available: <http://www.ubuntu.com>. [Poskus dostopa 8 3 2015].
- [74] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_machine. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [75] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/VirtualBox>. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [76] „raspbian,“ [Elektronski]. Available: <http://www.raspbian.org>. [Poskus dostopa 10 3 2015].
- [77] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital#microSD. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [78] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing. [Poskus dostopa 11 3 2015].

- [79] „thingiverse,“ [Elektronski]. Available: <http://www.thingiverse.com>. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [80] „eclipse,“ [Elektronski]. Available: <https://eclipse.org/juno/>. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [81] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Android_software_development. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [82] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Cascading_Style_Sheets. [Poskus dostopa 22 2 2015].
- [83] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/JavaScript>. [Poskus dostopa 22 2 2015].
- [84] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Notepad%2B%2B>. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [85] „developer android,“ [Elektronski]. Available: <http://developer.android.com/reference/android/content/BroadcastReceiver.html>. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [86] „developers google,“ [Elektronski]. Available: <https://developers.google.com/apps-script/reference/maps/geocoder>. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [87] „Developers Google,“ [Elektronski]. Available: <https://developers.google.com/maps/documentation/android/utility/heatmap>. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [88] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Mipmap>. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [89] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/SQLite>. [Poskus dostopa 18 3 2015].

-
- [90] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/JSON>. [Poskus dostopa 24 2 2015].
- [91] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Service_set_%28802.11_network%29#Security_of_SSID_hiding. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [92] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/HTML>. [Poskus dostopa 2 2 2015].
- [93] „jQuery,“ [Elektronski]. Available: <http://jquery.com>. [Poskus dostopa 22 2 2015].
- [94] „Bootstrap,“ [Elektronski]. Available: <http://getbootstrap.com>. [Poskus dostopa 22 2 2015].
- [95] „wikipedia,“ [Elektronski]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Responsive_web_design. [Poskus dostopa 11 3 2015].
- [96] „Google,“ [Elektronski]. Available: <http://www.google.com/chrome/>. [Poskus dostopa 20 3 2015].
- [97] „Opera,“ [Elektronski]. Available: <http://www.opera.com>. [Poskus dostopa 20 3 2015].
- [98] „Mozilla,“ [Elektronski]. Available: <https://www.mozilla.org>. [Poskus dostopa 20 3 2015].
- [99] „Microsoft,“ [Elektronski]. Available: <http://windows.microsoft.com/en-us/internet-explorer/ie-11-worldwide-languages>. [Poskus dostopa 20 3 2015].
- [100] „Google Play,“ [Elektronski]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.android.chrome>. [Poskus dostopa 20 3 2015].
- [101] „Google Play,“ [Elektronski]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.mozilla.firefox>. [Poskus dostopa 20 3 2015].

- [102] „Google Play,“ [Elektronski]. Available:
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.opera.browser>. [Poskus dostopa 20
3 2015].
- [103] „JMeter,“ [Elektronski]. Available: <http://jmeter.apache.org>. [Poskus dostopa 18 3
2015].